

A. Hydr.

86^{um}

Praktisches Handbuch

bei dem Bau

Eiserner Träger- oder Joch-Brücken.

Dresden: Rudolf Kuntze.

N. hydr. 86 $\frac{1}{2}$

Werner. g.

Prologue

1848

THE FIRST PART - THE FIRST PART

THE SECOND PART - THE SECOND PART

THE THIRD PART - THE THIRD PART

THE FOURTH PART - THE FOURTH PART

THE FIFTH PART - THE FIFTH PART

THE SIXTH PART - THE SIXTH PART

THE SEVENTH PART - THE SEVENTH PART

THE EIGHTH PART - THE EIGHTH PART

THE NINTH PART - THE NINTH PART

THE TENTH PART - THE TENTH PART

THE ELEVENTH PART - THE ELEVENTH PART

THE TWELFTH PART - THE TWELFTH PART

THE THIRTEENTH PART - THE THIRTEENTH PART

THE FOURTEENTH PART - THE FOURTEENTH PART

Praktisches Handbuch
bei dem Bau
Eiserner Träger- oder Joch-Brücken
mit besonderer Berücksichtigung
der
Britannia- und Conway-Röhren-Brücke
in England.

R. . .
Nach dem Englischen

von

Gustav Werther.

Mit 16 Tafeln lithographirter Zeichnungen.



Dresden,
Rudolf Kunze.

1853.

Bayrische
Staatsbibliothek
München

5. Abschnitt. Seite 22

Eisenbahn von Chester nach Holyhead—Telford's Holyhead-Strasse — Die Menai- und Conway-Kettenbrücke — Eiserne Brücken von Rennie im Jahre 1802 vorgeschlagen — Stephenson's Entwurf einer gusseisernen Brücke über die Enge von Menai — Einwendung der Admiralität dagegen und demzufolge Entscheidung für die röhrenförmige Ueberbrückung.

6. Abschnitt. Seite 26

Allgemeine Unterschiede zwischen den Balken- oder Joch-Brücken und den Bogenbrücken — Fairbairn's Versuche und Bericht über die Festigkeit der röhrenförmigen Träger, Hodgkinson's Versuche und Bericht — Stephenson's Bericht.

7. Abschnitt. Seite 49

Beschreibung der Britannia-Brücke — Das Mauerwerk des Britanniapfeilers, die Anglesea- und Caernarvon-Pfeiler und Widerlager — Einrichtung für die Herstellung der Röhren — Die Haupt- und Landröhren, Beschreibung ihrer Construction — Gerüste und Arbeitsbühnen — Vorkehrungen die Röhren überzuschiffen — Die Pontons — Das Aufziehen der Hauptröhren — Die hydraulischen Pressen — Die Verbindung der Röhren in den Pfeilern* — Die Conway-Brücke.

Bemerkung.

Alle in dem Texte vorkommenden Fussmaasse sind
Englisches Maass. Zur richtigen und bequemeren Vorstellung
der angeführten Grössen sei daher der Vergleich des Eng-
lischen Fussmaasses mit dem Sächsischen vorausgeschickt:

1 Fuss Engl. = 1,0763 Fuss Sächs. oder 0,538 Sächs. Elle,
10 - - - = 10,763 - - - - 5,386 - - -

1,858 Fuss Engl. = 1 Sächs. Elle,
18,48 - - - = 10 - - -

22,3 Zoll Engl. = 1 Sächs. Elle,
3 - - - = beinahe $3\frac{1}{4}$ Zoll Sächsisch.

Index

All the above are contained in the
following list, and are numbered
according to the order in which they
appear in the list. The numbers in
the margin of the list are the
pages on which they are found.
The list is arranged in alphabetical
order of the names of the
persons mentioned in the
list.

Einleitung.

Die öffentlichen Bauten oder die Werke des Ingenieurs erregen ein um so lebhafteres und allgemeineres Interesse, je mehr sie sich durch Neuheit, Grossartigkeit und die Zweckmässigkeit ihrer Einrichtung und Ausführung auszeichnen.

So wird die Herstellung einer Eisenbahn, einer Wasserstrasse, eines Hafens, eines Dock, eines Leucht-Thurms etc., als der öffentlichen Bequemlichkeit dienlich, mit allgemeiner Besorgniss betrachtet und ihre Vollendung als Fortschritt der öffentlichen Wohlfahrt begrüsst.

Ohnstreitig haben die Bauwerke, deren Beschreibung den Hauptgegenstand der folgenden Blätter bildet, gerechte Ansprüche auf besondere Aufmerksamkeit, denn sie sind neu, grossartig und in hohem Grade zweckmässig. Die Neuheit besteht in der Anwendung des Schmiede- oder Walzeisens zum Zwecke des Brückenbaues, welche jetzt einen besondern Zweig der Ingenieurkunst bildet. Erfahrungsgemäss gestattet das Walzeisen im Vergleich mit Guss-eisen Aenderungen der Form und Construction, die bei Weitem wirksamer sind, als die, welche bei letzterem nothwendig werden. Eine völlig horizontale und steife Plattform von 460 Fuss Tragweite und nur 3 Fuss Stärke, dazu bestimmt, eine Eisenbahn zu tragen, hätte durch keine andere bekannte Zusammenfügung der Theile hergestellt werden können, als die in Folgendem beschriebene. Dieses und andere gelungenene Beispiele von Ueberbrückungen haben anderweite Entwürfe unendlich erleichtert.

Es ist selten der Fall, dass die Erfindung neuer Constructionen und deren geschickte mechanische Ausführung von einer einzigen Person herrühren. Daher ist es oft schwierig für jeden der Mitwirkenden den wahren Antheil am Verdienste der Gesamtleistung festzustellen. Demzufolge ist jeder Versuch vermieden worden, über die gerechten Ansprüche zweier ausgezeichneten Männer zu entscheiden, deren vereinte Thätigkeit die Conway- und die Britannia-Röhrenbrücke entstehen liess. Beide diese grossartigen Werke verdanken Plan und Ausführung den vereinten Kräften von Rob. Stephenson und Will. Fairbairn.

Um einen Ueberblick der Erfahrungen zu geben, welche man bezüglich eiserner Brücken vor der Benützung des Walzeisens hatte, und um die Mängel zu zeigen, denen dasselbe abzuhelpen bestimmt war, ist dem Nachstehenden eine kurze Geschichte der eisernen Brücken vorausgeschickt, dem einige Bemerkungen über die frühere Benützung und Verwendung des Walzeisens folgen. Gleichzeitig haben auch die Arbeiten Telford's bezüglich der Strasse nach Holyhead wegen ihres allgemein interessanten Characters Erwähnung gefunden.

Röhrenförmige Träger- und andere eiserne Brücken.

1. Abschnitt.

Abriss der Geschichte eiserner Brücken — Gusseiserne Bogenbrücken — Gusseiserne Balken-Brücken — Gusseiserne mit Walzeisen armirte Balken-Brücken.

Die Verwendung des Eisens als Material zur Brückenconstruction gehört der Neuzeit an. Es sind kaum 70 Jahre vergangen, seit in England die erste eiserne Brücke und zwar über den Severn-Fluss bei Coalbrookdale erbaut wurde. Dieselbe besteht aus fünf gusseisernen Rippen, welche vermittels verticaler, ebenfalls gegossener Stützen, an Stelle der Hintermauerung, die Strassenplanie tragen. Die Rippen sind nahezu halbkreisförmig gestaltet und haben bei einer Stichhöhe von 45 Fuss eine Spannweite von 100 Fuss. Die Widerlager oder Kämpfer des Bogens liegen 10 Fuss über dem niedrigsten Wasserstande, so dass die lichte Höhe vom Wasserspiegel bis zum Scheitel der inneren Wölblinie des Bogens also 55 Fuss beträgt. Diese Brücke ist gewiss zur Zeit ihrer Vollendung als ein kühnes und in jeder Beziehung gelungenes Bauwerk betrachtet worden. Der Plan dazu rührt von einem Architect Pritchard her, der schon 1773 den Vortheil weitgespannter eiserner Bögen, für die Schifffahrt unter ihnen, hervorhebt.

Im Jahre 1788 wurde zu Rotherham in Yorkshire, eine Brücke, welche fast ganz aus Schmiedeeisen gewesen sein soll, unter Leitung der Herren Walkers, Besitzer bedeutender Eisenwerke in der Nähe, errichtet, später aber wieder abgetragen.

1790 entwarf Rowland Bourdon einen gusseisernen Bogen über den Weir-Fluss in Sunderland und erhielt 1792 vom Parlamente Genehmigung zur Herstellung dieses Werkes. Das Wesentliche an Bourdon's Plane bestand in der Anwendung gusseiserner Prismen an Stelle der Wölbesteine bei der gewöhnlichen Bogenconstruction. Die Sunderlandbrücke, wie sie jenem Plane gemäss ausgeführt ist, hat 6 Rippen und bei einer Stichhöhe von 30 Fuss eine Spannweite von 200 Fuss. Die Gesamt-Höhe vom Wasserspiegel bis an den Scheitel des Bogens beträgt fast 100 Fuss; so dass der ganze Bau sich sowohl durch Schönheit, als auch durch Kühnheit auszeichnet. Die sechs Rippen, welche das Gewölbe bilden, sind einander parallel in gegenseitigen Abständen von 6 Fuss aufgestellt. Jede der Rippen besteht aus 105 einzelnen Gussstücken, die mittels schmiedeeiserner Zapfen und dergleichen Bänder zusammengefügt sind. Durch gegossene Röhren als Spreitzen und durch diese hindurch gesteckte schmiedeeiserne Bolzen als Zugbänder ist die gegenseitige Lage der einzelnen Rippen gesichert.

Die Gewölbschenkel, d. h. der Raum von der äusseren Bogenfläche bis zur Brückenbahn, sind mit gusseisernen Reifen, die einander berühren und die Brückenbahn zunächst tragen, erfüllt. Die Breite der Brücke selbst ist 30 Fuss. Sämmtliches Eisen dazu wurde durch die Eisenfabrik des Herrn Walker in Rotherham beschafft und belief sich auf nicht mehr als 214 Tonnen Gusseisen und 46 Tonnen Walzeisen. Kurze Zeit nach Wegnahme der Gerüste zeigte der Bogen in Richtung des Flusses eine seitliche Ausbiegung von 18 Zollen. Dieser unerwartete Umstand würde ohne Zweifel den Einsturz der Brücke herbeigeführt haben, wäre jene Ausbiegung nicht auf geschickte Weise durch Anlegen eines Diagonal- und Querverbandes, mit Hülfe von Keilen und Schrauben wieder beseitigt worden.

Später wurden von Telford mehrere eiserne Brücken erbaut, von denen die erste die über den Severn-Fluss zu Buildwas in Shropshire war. Sie bildet einen Bogen von 130 Fuss Weite mit 27 Fuss Stichhöhe. Dieser Bogen besteht nur aus drei je 9 Fuss auseinanderstehenden Rippen und hat demnach 18 Fuss Breite. Die Rippen sind

3 Fuss 10 Zoll hoch und der Quere nach untereinander verbunden.

Ueber den Fluss Witham zu Boston in Lincolnshire errichtete Rennie eine eiserne Brücke, welche wegen der Kühnheit ihres Plans und der Flachheit des Bogens merkwürdig ist. Derselbe hat auf 100 Fuss Spannweite nur 4 Fuss Stichhöhe. In der Bauart gleicht diese Brücke der in Sunderland. Die Einrichtung des Diagonal- und Querverbandes, sowie die Ausfüllung der Gewölb-Schenkel mit verticalen Stützen für die Brückenbahn, statt der kreisförmigen, sind wesentliche Verbesserungen. Die grösste bis jetzt erbaute eiserne Bogenbrücke ist die über die Themse in London führende, durch Rennie entworfene und erbaute Southwark-Brücke. Dieselbe wurde im May 1819 eingeweiht. Sie besteht aus drei ungleich weiten Bogen, die aber dennoch sämmtlich Abschnitte eines und desselben Kreises sind. Der Mittelbogen besitzt bei 240 Fuss Spannung, 24 Fuss Stich. Die Pfeiler sind 24 Fuss stark. Die Breite der Fahrbahn ist 28 Fuss und die jedes der beiden Fusswege 7 Fuss. Jeder Bogen enthält 8 Rippen, jede Rippe 15 Theile, welche so geformt sind, dass die Rippe im Scheitel 6 Fuss, an den Widerlagern 8 Fuss Höhe hat. In der Mitte sind diese Rippen $2\frac{1}{4}$ Zoll, an der oberen und unteren Kante, d. i. an der äusseren und inneren Wölblinie aber $4\frac{1}{4}$ Zoll stark. Seitwärts werden die Rippen mittels durchbrochen gegossener Verbindungs-Platten von der jedesmaligen Höhe der ersteren und in diagonalen Richtung durch ein anderes System der Verstrebung vereinigt, so dass jeder Bogen eine den Steingewölben ähnliche Zusammenstellung hohler Wölbsteine darstellt. Sowohl die einzelnen Segmente der Rippen als auch die diagonalen und seitlichen Verbandstücke sind durch schwalbenschwanz-förmige Zusammenfügung und mittels langer gusseiserner Keile vereinigt. Die Anwendung von Bolzen ist dabei ganz umgangen. Die Bogenschenkel sind bis unter die Brückenbahn, zu deren nächster Unterstützung, mit rhombisch durchbrochenem Gitterwerk ausgefüllt. Die Widerlager und Pfeiler dieser Brücke sind steinern, auf Holzpfähle und Schwellrost gegründet und gegen Unterwaschung durch Verheerdungspfähle geschützt. Die Aufstellung der Rippen geschah vom Scheitel der Bögen nach deren Widerlagern hin,

auf denen gegossene Unterlags-Platten, als Kämpfer mit dem Mauerwerk befestigt sind. Sobald das letzte Segment jeder Rippe aufgestellt war, wurden unter jedes derselben drei gusseiserne 9 Fuss lange und 9 Zoll breite Keile eingelegt. Diese Keile hatten nur sehr wenig Steigung und wurden wechselsweise mit schweren Hämmern angetrieben, so dass sich die Bögen beinah vom Lehrgerüste lüfteten, welches dann sogleich weggeräumt wurde. Während des Baues angestellte Beobachtungen ergaben, dass die Ausdehnung, welche die Sommerwärme verursachte, eine durchschnittliche Erhebung der Bogenscheitel von $1\frac{1}{2}$ Zoll hervorbringt.

Zu dem Mittelbogen sind circa 1665 Tonnen Gusseisen und zu den beiden seitlichen circa 2920 Tonnen, also zur ganzen Brücke gegen 4585 Tonnen Gusseisen verwendet worden.

Das Princip dieser eisernen Bogenbrücken ist dem der steinernen und aus anderen Materialien gebauten Brücken darin identisch, dass deren Festigkeit und Stützfähigkeit in der Fortpflanzung einer Belastung nach den Widerlagern hin, beruht. Daher sind bei allen Brücken zwei Erfordernisse unerlässlich: 1) dass nämlich die Widerlager, um dem auf sie übertragenen Schube Stand halten zu können, hinreichend massiv hergestellt werden, und 2) dass zur Bildung der Bogenform und der ihr angemessenen Scheitelstärke die erforderliche Höhe vorhanden ist, damit der Schub des Gewölbes sicher nach den Widerlagern geleitet und die Festigkeit des Bogens nicht lediglich von der Höhe seines Querschnittes an der Stelle abhängig gemacht werde, an der eine Belastung sich gerade befindet.

Als die nützlichen Eigenschaften des Gusseisens und der Umfang seiner vielfältigen Anwendbarkeit in Gebäuden erkannt und die Verhältnisse für gegossene eiserne Balken, welche die hölzernen Deckenbalken ersetzen sollten, erprobt worden waren, blieb deren Verwendung zu Ueberbrückungen von geringen Weiten nicht mehr lange aus. Unter den während der letzten zwanzig Jahre ausgeführten Eisenbahnbauten finden sich beinahe ebenso zahlreiche Beispiele gusseiserner Balkenbrücken von bedeutenden Dimensionen und sinnreicher Construction, als deren an gegossenen eisernen Bogenbrücken vorhanden sind.

Die Festigkeit einer gusseisernen Balkenbrücke hängt von dem Flächeninhalte des Querschnitts der Balken an denjenigen Stellen ihrer Länge ab, an denen selbige belastet werden. Die Widerlager einer solchen Brücke haben nur vertical gerichteten Drucke zu widerstehen, während dieselben bei gewölbten Brücken auch noch seitlichem Schube ausgesetzt sind. Bei gusseisernen Balken- oder Trägerbrücken ist ferner die zu einer Ueberbrückung erforderliche Höhe auf die des Balkenquerschnitts reducirt, welche durch die grösste möglicher Weise vorkommende Belastung bedingt wird. Hierin liegt ein besonderer Vortheil dieser Ueberbrückungsform für Eisenbahnen überall da, wo es erwünscht ist eine Minimal-Entfernung unter oder über der Bahn einzuhalten. Jedoch die beschränkte Tragweite, für welche solche Balken mit Sicherheit anwendbar sind, hat ihrer ausgedehnten Benutzung zu Herstellung von Uebergängen stets Einhalt gethan. Als Maximum der so zu überbrückenden Oeffnungen hielt man gewöhnlich für einfache gusseiserne Träger, über welche Dampfwagenzüge gehen sollten, 40 Fuss.

Der Wunsch, diese bequeme Form der Construction beizubehalten und ihre Tauglichkeit auch auf weitere Spannungen auszudehnen, veranlasste die Versuche Schmiedeeisen und Gusseisen zu combiniren und zwar in der Weise, dass der zusammengesetzten Construction die Festigkeit, welche das Schmiedeeisen dem Zerreißen entgegenstellt, verliehen wird. Eine derartige Combination hat bei vielen Eisenbahnbrücken stattgefunden und es haben sich letztere auch dann noch als sicher bewährt, wenn jeder Balken in zwei oder mehrere einzelne Stücke gegossen war, die aneinandergestossen, die ganze Weite der Oeffnung übertrugen. An den Enden jedes dieser Stücke sind gewöhnlich seitwärts vorstehende Ohren oder Flangen angegossen, um mittels durch diese gesteckter Bolzen, die einzelnen Stücke vereinigen zu können.

Eine solche zusammengesetzte gusseiserne und durch walzeiserne Schienen verstärkte Trägerbrücke führt die Nord- und eine andere die Ostbahn in der Nähe Londons über den Fluss Lea. Bei beiden hat jeder der Träger 70 Fuss Länge und besteht aus zwei Gussstücken, die in der Mitte der Brückenöffnung mittels Bolzen und angegossenen Flangen

zusammengehalten werden. Die Höhe jedes solchen aus zwei Theilen gebildeten Trägers ist von einem Ende zum anderen gleichförmig 36 Zoll. Da an jedem Ende durch die Auflage 2 Fuss der Länge beansprucht sind, so verbleiben als lichte Weite der Oeffnung nur noch 66 Fuss. Der Querschnitt der Balken ist nach der bewährten Form oben und unten verbreitert. Die Verstärkungs- oder Armirungs-Schienen sind abtheilungsweise angeordnet und gehen paarweise zu beiden Seiten jedes Balkens, von beiden Enden seiner Oberseite in schräger Richtung abwärts bis zur unteren Fläche in eine Entfernung von 11 Fuss von der Mitte des Balkens. Ueber die noch verbleibende Länge von 22 Fuss laufen an der unteren Balkenfläche ebenfalls walzeiserne Schienen, welche mit den von den Enden herkommenden durch Bolzen vereinigt sind. Alle Verstärkungsschienen sind 6 Zoll breit und 1 Zoll stark. Gleichzeitig ist aber auch auf den grossen Nachtheil dieser combinirten Construction zu verweisen, der auf einem fehlerhaften Principe und in der Schwierigkeit, vielmehr Unmöglichkeit beruht, die beiden Eisenarten — Guss- und Schmiedeeisen — zu völlig gleichzeitiger Wirkung bei Unterstützung einer Belastung zu verbinden. Die Festigkeit des Gusseisens beruht auf seiner Steifheit. In Folge deren besitzt es wenig Elasticität, so dass oft wiederholte Biegungen das Gusseisen endlich spröde machen; es bricht daher häufig plötzlich ohne vorhergehende äussere Anzeichen. Walzeisen hingegen, in Form von Verstärkungs-Schienen gusseiserner Balken verwendet, soll durch seine absolute Festigkeit wirken. Jedoch ist deren Beihülfe nur dann gesichert, wenn die Cohäsion des Walzeisens eher beansprucht wird, als das Gusseisen schon eine gefährliche Durchbiegung erlitten hat. Es ist daher erforderlich, dass die gleiche Länge der Schienen bei allen Aenderungen der Temperatur gesichert ist, eine Bedingung, welche praktisch durch keine Form der Construction und Anordnung der Theile erfüllt werden kann. Dieser Nachtheil stellte sich auf sehr beklagenswerthe Weise durch den Einsturz der grössten derartigen Ueberbrückungen über den Dee-Fluss bei Chester, an der nach Holyhead führenden Eisenbahn, heraus. Gedachte Brücke führt in schräger Richtung über den Dee und hatte

drei, im Lichten 98 Fuss weite Oeffnungen, von denen jede mit vier unter sich parallelen, nach den Schienengleisen paarweise mit einander verbundenen Trägern überbrückt war. Jeder Träger war der ganzen Länge nach gleichförmig 3 Fuss 9 Zoll hoch, aus drei einzelnen Gussstücken zusammengesetzt und hatte einen doppel-T förmigen Querschnitt von 160 Quadratrollen Flächeninhalt. Die gewalzten Armirungs-Schienen waren zu je vierten an beiden Seiten der Träger angelegt und nach Art der Kettenglieder bei Hängebrücken verbunden. Durch die geringe Höhe der Träger im Vergleich mit ihrer Länge, hatten die Armirungsschienen fast in horizontaler Richtung zu wirken, wodurch ihr Vermögen, dem Durchbiegen der Träger zuvorzukommen, sehr geschwächt wurde. Ausserdem war der Querschnitt dieser Schienen, mit der ganzen Länge der Träger verglichen, weit geringer als dies bei den kleineren Constructionen derselben Art der Fall ist. Deshalb musste auch die Verlängerung der Beschienung durch Erhöhung der Temperatur relativ grösser und dem entsprechend ihre Wirksamkeit verringert werden. Das Zusammenbrechen mehrerer Träger dieser Brücke im Mai 1847 wurde dadurch herbeigeführt, dass auf der Brücke selbst ein Bahnzug aus dem Gleise gerieth. Ueberhaupt ist die allen solchen Combinationen des Guss- und Schmiedeeisens für Brücken, welche nicht nur der Wirkung einer ruhenden Belastung, sondern der noch weit heftigern einer schnell darüber schreitenden Last ausgesetzt sind, ursprünglich inwohnende Schwäche zu sichtlich, um von dieser Art Brücken für die Dauer Sicherheit erwarten zu können.

Das dringende Bedürfniss einer Brückenconstruction, die bei einer Minimalhöhe dennoch die grösste Sicherheit verbürgt, veranlasste eine Reihe von darauf bezüglichen, in grösserem Maassstabe angestellten Versuchen.

2. Abschnitt.

Walzeisen — Verarbeitung desselben zu Blechen und Schienen. Verwendung der Eisenbleche zum Bau der Dampfkessel, sowie der Bleche und Schienen im Schiffbau. — Dabei erforderliche Arbeitsmaschinen.

Ehe zu der Beschreibung von Röhrenbrücken und röhrenförmigen Balkenbrücken, aus gewalzten Eisenblechen verschritten wird, dürfte es interessant sein, andere Zusammenstellungen dieses Materials zu erwähnen, deren vorhergegangene Anfertigung die Benutzung des gewalzten Eisens für den Brückenbau vorbereitete.

Die Gestaltung des Eisens in die Form von Blechen und Stäben oder Schienen verschiedener Querschnitte geschieht durch einen Walzprocess, der jeden beliebigen Grad der Streckung bei Erzeugung von Blechen bewirkt und eine grosse Verschiedenheit der Querschnittsformen bei Herstellung von Stäben oder Schienen gestattet. Die Erfindung des Auswalzens streckbarer Metalle wird Henry Cort zu Southampton, um das Jahr 1783 zugeschrieben. Seit dieser Zeit sind jedoch vielfältige Verbesserungen im Walzen und Gestalten der Bleche eingeführt worden, auch hat die Grösse und Gewalt der zu diesem Zwecke dienenden Maschinen bedeutende Steigerungen erfahren. Als Beispiel der Ausdehnung, bis zu welcher Bleche jetzt gewalzt werden, sei nur die Grösse der neuerdings von der Coalbrookdale-Eisenwerks-Gesellschaft, zu Bodenblechen für Dampfkessel gelieferten erwähnt, die bei 10 Fuss 7 Zoll Länge und 5 Fuss 1 Zoll Breite, noch $\frac{7}{16}$ Zoll stark sind.

Stabeisen wird erzeugt, indem man Zaine oder Barren durch Walzen gehen lässt, in deren Umfange Rinnen oder Nuthen so eingedreht sind, dass der Raum, den die Walzen zwischen sich lassen wenn sie einander nahe gebracht werden, nahezu die verlangte Querschnittsform der fertigen Stäbe zeigt. Die verschiedenen Formen, welche das Stabeisen so erhält, sind: 1) solche mit kreisrundem Querschnitte, d. i. Rund- oder Stangeneisen; 2) solche mit rechteckigem Querschnitte,

d. i. Quadrat- od. Flacheisen; 3., solche mit **L** förmigem Querschnitte, d. i. Winkeleisen. Dieses wird sowohl mit gleichlangen als ungleichlangen Schenkeln und diese wiederum entweder gleichstark, oder nach den Winkeln hin sich verstärkend, gewalzt. Ferner gibt man dem Stabeisen häufig einen **T** förmigen Querschnitt, bei dem der Hals und die Arme wieder von gleicher oder ungleicher Länge, sowie deren Stärke gleichförmig, oder nach dem Winkel hin anlaufend, hergestellt werden kann. Dem doppel- **T** oder **II** förmigen Querschnitte gibt man ähnliche Veränderungen.

Ausser diesen allgemeinen Querschnittsformen, von denen immer eine oder mehrere gleichzeitig in den meisten Walzeisen Constructionen vorkommen, giebt es noch viele andere, die für besondere Zwecke angefertigt werden, wie z. B. die der Eisenbahnschienen etc.

Die gewalzten Eisenbleche fanden in neuerer Zeit nächst der Verwendung zu Dampfkesseln eine ihrer ersten Anwendungen beim Schiffbau — einer Kunst, welche wahrscheinlich noch jetzt vieler Verbesserungen fähig ist. Das erste eiserne Boot hat Aron Manby in der Nähe von Birmingham zur Communication zwischen Havre und Paris in der Zeit von 1820—21 gebaut. Etwa zehn Jahre später wurden die nächsten eisernen Schiffe für die Ostindische Compagnie zur Beschiffung des Ganges hergestellt. Ihre fernere schnelle Verbreitung verdanken eiserne Schiffe dem Umstande, dass sie im Vergleich mit hölzernen grössere Festigkeit und Leichtigkeit besitzen, und auch noch zur Anbringung wasserdichter Abtheilungen, die bei Unglücksfällen grosse Sicherheit gewähren, sehr geeignet sind.

Da die Wand-Bleche eiserner Schiffe nothwendiger Weise an den Rändern durch die häufigen Nietlöcher geschwächt werden, so hat man durch Verstärkung der Ränder diese Schwächung auszugleichen gesucht und ausserdem beim Zusammennieten zweier aneinander stossender Bleche, die Stossfuge noch mit einem Blechstreifen überdeckt. Fairbairn verwendete Bleche, die sogleich mit verstärkten Rändern gewalzt waren und fügte sie mittels Rippen von **T**-Eisen aneinander, auf dessen Arme die Bleche genietet wurden. Der Nutzen der verdickten Ränder ging aus Ver-

suchen über die Festigkeit der Nietstellen hervor. Jene zeigten, dass die Festigkeit einer einfachen Nietung, wenn diese einem directen Zerreißen ausgesetzt wird, nur 60 Procent und die einer doppelten Nietung nur 75 Procent der Festigkeit der Bleche selbst beträgt. Die Verstärkung der Ränder soll dergestalt geschehen, dass die Querschnittsfläche des Bleches durch die Reihe der Nietlöcher derjenigen durch die Mitte der Blechtafel nahe gleichkommt. Eine solche Verstärkung bietet noch den Vortheil, dass die Nietköpfe auf der Aussenseite der Schiffswandung versenkt werden können, wodurch eine möglichst glatte Oberfläche des Schiffskörpers gewonnen wird.

Eine dem Baue eiserner Schiffe naheliegende Verwendung gewalzter Eisenbleche, Stäbe und Schienen, ist die zur Herstellung von Schleussenthoren, Fluthschützen und Kästen zu den sogenannten Kastengründungen.

Der ausgebreitete Bedarf von Walzblechen für diese und andere Zwecke hat manche sinnreiche Maschine zum Lochen und Nieten der Bleche hervorgerufen, von denen einige wenigstens kurze Erwähnung verdienen, um zu zeigen, mit welcher Leichtigkeit die Benutzung des Walzeisens auf die Zwecke des Brückenbau's zu übertragen war.

Die Verbindung von Blechen, Schienen oder Rippen etc. in deren mannigfaltigen Zusammenstellungen, umfasst drei verschiedene Operationen; nämlich die Anfertigung der Nieten, das Stanzen der Löcher in die beiden zu verbindenden Theile und das Vernieten selbst.

Eiserne Nieten werden jetzt in grossen Mengen fabrikmässig mittels besonderer Maschinen gefertigt, durch welche Eisenstäbe in die gehörigen Längen zerschnitten und die Nietköpfe genau nach einer versenkten Form, oder einem Gesenke angepresst werden. Das Lochen geschieht ebenfalls mit Hülfe vervollkommneter Maschinen, welche die Arbeit schnell und mit grosser Genauigkeit verrichten. Eine sehr sinnreiche mechanische Einrichtung zu diesem Zweck wurde von Roberts & Co. in Manchester für die Erbauung der Conway- & Britannia-Brücke erfunden. Nicht minder interessant und geschickt ist die Anwendung des Principes der hydraulischen Presse für Maschinen zum Lochen, Nieten und Schneiden der Bleche etc., welche Charles May in

Ipswich 1846 patentirt erhielt. Zu demselben Zwecke wurde schon 1833 durch Fairbairn die directe Benutzung der Expansion des Dampfes angeregt und hat sich ebenfalls vorthellhaft bewährt. Das Zerschneiden der Blechtafeln, sowie das Beschneiden ihrer Kanten, um selbige genau aneinander stossen zu können, ist eine andere wesentliche Verrichtung, für die es ebenfalls verschiedene Formen von Maschinen giebt. Um dem Rollen oder Kräuseln vorzubeugen, welchem lange Blechtafeln beim Schneiden unterworfen sind, verwendet man neuerdings Scheeren die aus einem kreisförmigen rotirenden und aus einem geradlinigen Messer bestehen, welches letztere in horizontaler Richtung, sammt des zu schneidenden Bleches, gegen ersteres hin bewegt wird.

3. Abschnitt.

Die ersten Constructionen walzeiserner Blechbalken — Fairbairn's röhrenförmige Balken und Beispiele von deren Verwendung zum Brückenbau — Brücke an der Blackburn & Bolton-Eisenbahn — Brücken nach der Landungs-Bühne in Liverpool — Brücke an der Manchester-Sheffield-Eisenbahn bei Gainsborough.

Bei den ersten Versuchen Walzeisen anstatt des Gusseisens zur Construction von Balken zu verwenden, wurden die Bleche mit vertikalen Fugen aneinander gestossen und erhielten sowohl an der oberen als unteren Kante, durch zu beiden Seiten angenietete Schienen von Winkeleisen, eine Verstärkung. Balken dieser Form sind schon seit 15 Jahren als Deckbalken in Schiffen und als Deckenbalken in Wohngebäuden gebraucht worden. Im Dockyard zu Portsmouth finden sich solche von 41 Fuss 3 Zoll Länge und in der Mitte von 2 Fuss Höhe, (die nach den Enden hin bis auf 1 Fuss abnimmt,) verwendet. Der mittlere Theil oder Hauptkörper dieser Balken ist der Breite nach aus zwei $\frac{3}{8}$ Zoll starken Blechen gebildet. Jede dieser Blechtafeln hat eine Länge von 6 Fuss 9 Zoll und ist so auf die andere gelegt, dass sich die Stossfugen abwechselnd überdecken. Die zu beiden

Seiten angenieteten Winkelschienen verbreitern die obere Seite des Balkens auf 9 Zoll, die untere auf 16 Zoll. Sämmtliche Nieten sind $\frac{5}{8}$ Zoll stark. Fig. 1 zeigt eine Ansicht dieser Balken und Fig. 2 einen Durchschnitt durch die Mitte derselben in vergrössertem Maassstabe. Diese Form der Balken ist augenscheinlich eine Nachahmung der Verhältnisse, die man für Gusseisen als geeignet fand, dessen geringe Dehnbarkeit allerdings am Fusse des Querschnitts eine Verstärkung bedurfte. Allein neuere Untersuchungen haben dargethan, dass jene Verbreiterung auf Walzeisen nicht zu übertragen ist, wenn dasselbe zu dem nämlichen Zwecke verwendet werden soll.

Die Versuche, welche mit obigen Trägern angestellt wurden, zeigten, dass ein dem Gewicht von 15 Tonnen entsprechender Druck — auf die Mitte eines derselben mittels einer hydraulischen Presse ausgeübt und bei einer Entfernung zwischen den Auflagern von 40 Fuss 5 Zoll — eine Durchbiegung von 1 bis $1\frac{1}{4}$ Zoll bewirkte, die sich jedoch bei Beseitigung des Druckes bis auf $\frac{1}{16}$ Zoll wieder verlor. Dabei stellte sich gleichzeitig heraus, dass diese Balken nach seitlicher Richtung nicht hinlängliche Steifigkeit gewährten, sondern sich in dieser Richtung ausbogen, bevor noch ein Anzeichen des Senkens zu bemerken war. Diesem Uebelstande zu begegnen und den Grad der Widerstandsfähigkeit und Steifheit zu erlangen, welcher bei Anwendung walzeiserner Träger für Eisenbahnbauten erfordert wird, kam deren röhrenförmige Gestaltung in Vorschlag. Abermalige Versuche bewiesen von Neuem, dass Walzeisen in dieser Weise verwendet, der Zusammenrückung oder dem Einbiegen weit weniger als der Dehnung zu widerstehen vermag. Um daher diesen röhrenförmigen Balken die fehlende Steifheit zu geben, bediente man sich der abtheilungs- oder zellenförmigen Gestaltung ihrer Decken oder Oberseiten. Bei Herstellung solcher Balken werden die Blech-Platten für die Seitenwände stumpf aneinander gestossen, die Fugen an der Aussenseite der Länge nach — die Fugen gehen senkrecht — mit einem Streifen Blech, (Deck- oder Stossblech genannt,) und an der inneren Seite mit einer Schiene **T**-Eisen als Rippe bedeckt. Die Nieten reichen gleichzeitig durch alle drei Eisenstärken hin-

durch. Der Boden besteht entweder aus einfachen oder doppelten Blechen, die mit wechselnden Fugen aufeinander gelegt und mittels Winkleisen an die Seitenwände des Balkens genietet werden. Die Oberseite oder Decke kann entweder von Guss- oder Walzeisen, im Querschnitte von rechteckiger, elliptischer, oder jeder anderen geeigneten Zellenform construirt werden, um dem Zusammenstauen oder Einbiegen der hohlen Balken zu begegnen.

Die Art der Nietung, welche bei allen bisherigen Constructionen röhrenförmiger Balken und Träger beobachtet worden ist, wird mit dem Namen „Kettennietung“ bezeichnet und zwar deshalb, weil die Stossplatten über jeder Fuge gewissermaassen das verbindende Glied zweier Bleche bilden.

Die erste Ueberbrückung mittels walzeiserner, röhrenförmiger und nach Fairbairn's Zellenprincip gestalteten Balken wurde über den Leeds- und Liverpool-Canal für die Blackburn & Bolton-Bahn hergestellt. Dieselbe ist in den Figuren 3 bis 6 näher beschrieben.

Fig. 4 zeigt den Querschnitt der Brückenbahn, Fig. 5 den eines der äusseren Träger, Fig. 6 einen Theil der Längenansicht der Träger nebst Befestigung der Querschwellen, auf denen das Schienengleis ruht. Jeder der Träger besteht aus einer rechteckigen Zelle als Decke, aus $\frac{3}{8}$ Zoll dicken Blechen, die an den inneren Ecken durch Winkel-Schienen verbunden sind. Die Seitenwände sind aus $\frac{3}{16}$ Zoll starken Blechtafeln gebildet, die auf der inwendigen Seite an verticale **T**-Rippen genietet und mit einer doppelten Bodenplatte, sowie mit der zellenförmigen Decke durch äusserlich angelegte **L**-Schienen zu einem Balken vereinigt sind. Die Bodenbleche sind einzeln $\frac{3}{8}$ Zoll stark.

Da der Mittelträger der Brücke für beide Gleise in Anspruch genommen wird, so ist er verhältnissmässig stärker gebaut, als jeder der beiden seitlichen.

Die Schienen liegen auf Langschwellen, welche sowie die Zwischenfüllung von Querschwellen getragen werden, die mittels eiserner Hängebänder zunächst an die Bodenplatte der Träger befestigt sind. Ein langer Bolzen geht bei jeder Querschwelle durch eine gusseiserne Hülse, welche zwischen die obere und untere Platte der zellenförmigen Decke eingepasst ist, abwärts bis an die untere Seite der

Schwelle und überträgt so die Belastung der Gleise auch auf den oberen Theil des ganzen Balkens.

Vor der Eröffnung für den Verkehr wurde diese Brücke durch folgende gewaltige Prüfung für jede möglicher Weise darüber schreitende Belastung hinlänglich widerstandsfähig befunden. Drei Locomotiven, jede von 20 Tonnen Gewicht, wurden aneinander gehängt, so dass sie die ganze Tragweite der Balken von 60 Fuss einnahmen, und mit verschiedenen Geschwindigkeiten, von 1 bis 5 deutschen Meilen per Stunde, über die Brücke gefahren. Die stärkste Durchbiegung der röhrenförmigen Balken oder Träger betrug dabei 0,025 Fuss. Ferner wurden auf die Schienen der Gleise, in der Mitte der Brückenweite, zwei Keile von $1\frac{1}{2}$ Zoll Höhe gelegt und dem ohngeachtet bewirkten die beim Darüberfahren dadurch verursachten Stösse jeder der drei Maschinen, bei einem Anlaufe mit einer Geschwindigkeit von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Meilen per Stunde, nur eine Durchbiegung von 0,045 Fuss, d. i. nahezu $\frac{1}{2}$ Zoll.

Das Gesamtgewicht der röhrenförmigen Balken allein betrug 30 Tonnen. Die Herstellungskosten vertheilten sich auf eine Tonne mit 30 Pfund Sterling, d. s. circa 210 Thaler, oder 10 Thaler pro Centner. Hiernach kosten diese Balken allein 900 Pfund Sterling oder circa 6300 Thaler.

Ein anderes Beispiel für die Verwendung walzeiserner, röhrenförmiger Balken und zwar in noch grösserem Maassstabe, bieten die beiden Brücken, durch welche die Landungsbühne in Liverpool mit dem Quai der Docks in Verbindung gesetzt ist. Diese Bühne ist hölzern, 500 Fuss lang, 80 Fuss breit und ruht auf zwei eisenblechernen Pontons, von denen jeder wiederum 80 Fuss lang, 10 Fuss breit und 6 Fuss tief ist. Jede der Brücken, welche die Communication zwischen dieser Bühne und dem Quai herstellen, ist an dem Ufer mit dem einen und der Bühne mit dem anderen Ende so befestigt, dass sie sich ganz von selbst nach dem Steigen und Fallen, dem Ein- und Ausströmen der Fluth richten und also ununterbrochen einen Uebergang für Wagen, Vieh und Personen gestatten. Die Details dieser beiden Brücken sind aus den Figuren 7, 8, 9 ersichtlich. Fig. 7 zeigt die Ansicht, Fig. 8 den Querschnitt durch die Mitte der Brücken, Fig. 9 die Ansicht eines Endes der Träger

oder Balken. Die ganze Länge jeder Brücke beträgt 152 Fuss 4 Zoll, die lichte Entfernung zwischen den gusseisernen, quadrantischen Gehäusen der Balkenenden, nur 142 Fuss. Die Höhe der Träger ist an den Enden 5 Fuss 6 Zoll und nimmt nach der Mitte bis auf 8 Fuss 6 Zoll zu. Die obere Abtheilung jedes Trägers ist 2 Fuss 6 Zoll breit, 1 Fuss 1 Zoll hoch und dabei noch durch eine Scheidewand in zwei gleich grosse Zellen getheilt. Der übrige Körper der Träger ist zwischen den Aussenflächen der Seitenwände 2 Fuss dick und aus zwei Fuss breiten, vertical durch $4\frac{1}{2}$ Zoll breite Stossbleche aneinander gereihten Blechtafeln gebildet. Sämmtliche Nieten stehen von Mitte zu Mitte in $2\frac{3}{4}$ Zoll weiten Entfernungen auseinander. Die obere Abtheilung der Träger ist aus Blechtafeln von 6 Fuss Länge hergestellt, deren Stossfugen auf der Aussenseite ebenfalls mit Stossblechen überdeckt sind. Die lichte Entfernung der beiden kastenförmigen Balken, oder die Breite des Fahrwegs jeder Brücke, beträgt 11 Fuss und die jedes der Fusswege 6 Fuss. Im Mittel ihrer Tragweite sind beide Balken durch ein gebogenes, ebenfalls röhrenförmiges Joch zusammengehalten. Der Querschnitt desselben ist rechteckig 1 Fuss 9 Zoll hoch und 1 Fuss 6 Zoll breit.

Die hölzernen Querschwellen, welche die Brückenbahn unterstützen, verjüngen sich von der Mitte nach den Enden zu und zwar von $10/8$ Zoll auf $8/8$ Zoll und sind mittels geschmiedeter Hängebänder an die Balken angehängt. Jede der Seitengallerien ist mit einem leichten Geländer versehen.

Die weiteste der bis jetzt, mittels eiserner röhrenförmiger Balken, von der soeben erläuterten Querschnittsform, errichteten Ueberbrückungen, ist in den Figuren 10, 11, 12 und 13 dargestellt. Dieselbe ist von Fairbairn gebaut und führt die Manchester-Scheffield-Eisenbahn bei Gainsborough über den Trent-Fluss. Sie besteht in zwei Spannungen, jede von 154 Fuss Weite. Der Mittel- und die Landpfeiler der Brücke sind von Mauerwerk hergestellt. Der Bogen in jedem der Landpfeiler hat 40 Fuss Oeffnung. Die Brücke überschreitet den Fluss in einer schiefen Richtung von 50 Graden. Die Balken oder Träger sind in ihrer ganzen Längenausdehnung gleichförmig hoch und liegen über jeder Brückenöffnung paarweise und zwar in einer gegenseitigen

Entfernung von 26 Fuss, so dass sie die beiden Schienengleise einschliessen. Figur 10 zeigt eine Ansicht und Figur 11 den Grundriss, Figur 12 den Querschnitt der Träger und der Brückenbahn durch die Mitte einer Oeffnung. Die Träger sind 12 Fuss hoch. Die obere in zwei gleiche Zellen getheilte Abtheilung derselben ist, der Breite ihres Querschnitts nach gemessen, 3 Fuss $\frac{3}{4}$ Zoll breit und 1 Fuss 3 Zoll hoch. Die Fugen der Seitenwände sind äusserlich wiederum mit Stossblechen, aber an der inneren Seite der Träger mit **T**-Rippen überdeckt. Ein 1 Fuss breiter Blechstreifen, mit zwei Schienen Winkelleisen längs seiner Kanten ist an der Aussenseite jedes Trägers in Form eines Bogens angeheftet, ohne einen anderen Zweck, als dadurch den Eindruck der Starrheit, den der Anblick der horizontalen Begrenzungen der Brückenjoche hervorbringt, zu mildern.

Die Eisenbahnschienen liegen in Stühlchen auf hölzernen Langschwellen, von hohlen Querschwellen aus Eisenblech unterstützt, welche letztere auf den Bodenplatten der beiden Hauptbalken ruhen und gleichzeitig auf diese fest genietet sind. Diese Querschwellen liegen winkelrecht gegen die Hauptbalken und zwar von Mitte zu Mitte, in Abständen von 4 Fuss. Fig. 13 zeigt den Querschnitt derselben. Die hölzernen Langschwellen sind auf die eisernen Querschwellen aufgekämmt. Die Planie der Brücke ist mit 3 Zoll starken Pfosten hergestellt.

4. Abschnitt.

Walzeiserne Brücken verschiedener Construction, wie Gitterbrücken etc. — Röhrenförmige Bogenbrücken — Brücken mittels röhrenförmiger Balken und dazwischen gewölbter Ziegelbögen
Eiserne Brückenbalken mit Concret gefüllt.

Neben den im vorigen Abschnitte beschriebenen Balkenformen und den noch näher zu erwähnenden Röhrenbrücken, wird das Walzeisen noch zur Construction mehrerer anderer Ueberbrückungs-Systeme benutzt, unter denen das der sogenannten Gitterbrücken eines der ältesten und

allgemein verbreitetsten ist. Dasselbe zeigt statt der vorigen Blechträger verticale Gitterwerke, deren obere und untere Begrenzung vollkommen parallel sind und die im Uebrigen aus Eisenschienen, die einander unter einem Winkel von 45 Graden überkreuzen, gebildet sind. Ursprünglich wurden diese Gitterbalken in Amerika und zwar Anfangs aus Holz hergestellt, erscheinen daher in ihrer gegenwärtigen Gestalt nur als Nachahmungen dieser Holzconstructions in Eisen. Zwei solcher Gitter, in angemessener Entfernung parallel zu einander aufgestellt und gegenseitig verbunden, bilden die Unterstützung der Brückenbahn.

Eine andere ebenfalls der ursprünglichen Construction in Holz, häufig in Walzeisen nachgebildete Form für Brückenbalken oder Träger, ist die einer nach Bogenform gekrümmten Röhre, deren Enden durch eine Zug- oder Spannkette, oder auch durch eine zweite Röhre, sehnenartig verbunden sind. Dadurch, dass das sehnenartige Zugband mit der bogenförmigen Röhre durch verticale Hängesäulen verbunden ist, wird eine Belastung der Brückenbahn, welche auf der Sehne zunächst aufliegt, auch über den Bogen vertheilt. Diese Art eiserner Brückenträger empfiehlt sich besonders für sehr grosse Spannungen wegen ihrer verhältnissmässig grossen Leichtigkeit.

Eine mittels Träger oder Joche dieser Art hergestellte Ueberbrückung, führt eine Eisenbahn über den Fluss Ouse, und zwar über eine Oeffnung von 170 Fuss Weite, bei einer Höhe des röhrenförmigen Bogens über seiner Sehne von nur 15 Fuss. Der Bogen ist von $\frac{1}{2}$ Zoll starken Blechen gebildet und zeigt durchgängig ein und denselben Querschnitt von 4 Fuss Höhe und 3 Fuss Breite. Die Bogensehne ist hier ebenfalls eine Röhre mit rechtwinklichem Querschnitte von 2 Fuss 6 Zoll Höhe und 3 Fuss Breite. Für zwei Schienengleise sind drei dieser Bogengestelle verwendet und einander parallel in solchen Abständen errichtet, dass je ein Gleis zwischen zwei der bogenförmigen Träger gelegen ist. Da, wo Bogen und Sehne zusammentreffen, sind über beide starke Eisenplatten genietet. Alle Theile eines jeden Trägers sind mittels Nieten vereinigt. Figuren 14, 15, 16 geben eine Skizze dieser ebenerwähnten Bogen- und Sehnen-Träger. Fig. 14 zeigt die Ansicht eines halben Trägers,

Fig. 15 den Querschnitt der gebogenen, sowie der sehnartigen Röhre und Fig. 16 einen Querschnitt durch zwei benachbarte Querschwellen, auf welchen die Langschwellen und Schienen ruhen.

Zwei andere Brücken dieses Systems finden sich an der Blackwall-Eisenbahn zwischen Stepney und Bow. Die eine derselben überträgt eine lichte Weite von 120 Fuss, die andere eine von 118 Fuss 8 Zoll. Die gebogene Röhre jeder Rippe oder jedes Joches dieser Brücken, ist von $1\frac{11}{16}$ Zoll starken Kesselblechen, die durch Winkeleisen zusammengefügt sind, hergestellt. Die Breite ihres rechtwinklichen Querschnitts beträgt 2 Fuss 10 Zoll und die Höhe 2 Fuss. Die Fläche des Querschnitts enthält 81 Quadratzoll. Die Enden des Bogens oder der gebogenen Röhre, sind durch eine eiserne Sehne, um den Horizontalschub des Bogens unwirksam zu machen, zusammengehalten. Diese Sehne ist, wie die Ketten einer Hängebrücke, aus einzelnen durch Bolzen verbundenen Gliedern gebildet, die zusammen eine Querschnittsfläche von 69 Quadratzoll besitzen. Zwischen dem Bogen und der Sehne ist ein System verticaler und diagonalen Verbindungstheile eingeschaltet, um das Gewicht der Brückenbahn, sowie der über selbige schreitenden Lasten, gleichmässig über den ganzen Bogen zu vertheilen. Die Enden der so gebildeten Brückenjoche liegen auf gusseisernen Unterlagsplatten und zwar so, dass nur eines derselben der Ausdehnung und Zusammenziehung in Folge des Temperaturwechsels nachgeben kann. Die letztere dieser beiden Brücken, deren Spannung 116 Fuss 8 Zoll bei einer Pfeilhöhe des Bogens von 8 Fuss beträgt, widerstand vor ihrer regelmässigen Benutzung, als Prüfung, einer Belastung von 240 Tonnen, (das Eigengewicht der Brücke von 59 Tonnen ungerechnet) und zeigte dabei in der Mitte eine Maximalsenkung von $3\frac{11}{16}$ Zoll, die jedoch mit Entfernung der Belastung gänzlich wieder verschwand.

In kleinerem Maassstabe als der bisher berücksichtigte, sind röhrenförmige walzeiserne Balken schon vor neun Jahren zum Brückenbau verwendet worden, allein gegen die erwähnten Beispiele in sehr verschiedener Weise. Zur näheren Erläuterung sei eine Brücke angeführt, welche die

Strasse nach Carmunock über die Eisenbahn nahe bei Glasgow führt. Diese Brücke überschreitet die Eisenbahn in schiefer Richtung und hat an den Stirnseiten gemessen, 31 Fuss 6 Zoll Weite, während die eigentliche Passagenöffnung für die Eisenbahn, nur 30 Fuss beträgt. Die Breite der Strassenkrone zwischen den Brustwehren ist 25 Fuss 6 Zoll und wird durch sechs, von Mitte zu Mitte 5 Fuss 1 $\frac{1}{4}$ Zoll von einander entfernten, einzeln 35 Fuss 3 Zoll langen Balken gebildet. Dieselben sind aus $\frac{3}{8}$ Zoll starken Kesselblechen, in der aus Fig. 17 und 18 ersichtlichen Weise, zusammengesetzt. Fig. 17 bedeutet den Querschnitt der Ueberbrückung und Fig. 18 einen Theil der Oberansicht der Balken mit ihrer gegenseitigen Verbindung. Die Balken sind 18 Zoll hoch, oben 3 $\frac{1}{4}$ Zoll und unten 6 Zoll im Lichten weit. Die Deck- und Bodenbleche ragen vor den Seitenwänden auf jeder Seite 3 Zoll vor, und sind mit Winkelschienen an letztere genietet. Die Niete sind $\frac{1}{2}$ Zoll stark und 1 $\frac{1}{2}$ Zoll von einander entfernt. Die Balken selbst sind mit Concret erfüllt in der Absicht, ein Eindringen der Seiten durch einen äusserlich auf sie wirkenden Druck zu verhindern; unter einander sind sie durch 3 Zoll breite und $\frac{5}{8}$ Zoll starke Querschienen verbunden. Die Räume zwischen den Balken sind mit Ziegeln ausgewölbt, so dass die Ueberhebung der dadurch gebildeten Tonnengewölbe nur 1 $\frac{1}{2}$ Zoll beträgt. Die Oberseite dieser Gewölbe wurde mit heissem Theer übergossen und über diesen eine Schicht Thon fest gerammt, auf diesen sodann ein Steinschlag ausgebreitet, der zur besseren Bindung noch eine 2 Zoll dicke Bedeckung von Schmiedeschlacken erhielt. Auf jeder Seite der Brückenbahn ist ein Fussweg angelegt.

5. Abschnitt.

Eisenbahn von Chester nach Holyhead — Telford's Holyhead-Strasse — Die Menai- und Conway-Kettenbrücke — Eiserne Brücken von Rennie im Jahre 1802 vorgeschlagen — Stephenson's Entwurf einer gusseisernen Brücke über die Enge von Menai — Einwendung der Admiralität dagegen und demzufolge Entscheidung für die röhrenförmige Ueberbrückung.

Die Eisenbahn von Chester nach Holyhead, welche einen ansehnlichen Theil der kürzesten Entfernung zwischen London und Dublin bildet, bietet, im Allgemeinen betrachtet, eben so grosses Interesse als im Besonderen. Sie enthält die bedeutenden unter den Namen der Conway- und Britanniabrücke bekannten Bauwerke. Die Länge dieser Bahn ist $84\frac{1}{2}$ miles, die man jetzt in 2 Stunden 40 Minuten zurücklegt. Die Hauptrichtung derselben, von den Windungen, die der bergige Character der durchschnittenen Gegend bedingt, abgesehen, ist von Ost nach West. Die Bahn zieht sich in ihrer ganzen Ausdehnung an der Meeresküste hin und ist streckenweise der von Telford angelegten Holyheadstrasse parallel, deren Herstellung schon mit grossen Kosten verknüpft war, da sie bedeutende Brücken, Dämme, Einschnitte und Schutzmauern nöthig machte. Neben verschiedenen in dieser Strasse vorkommenden Steinbrücken, verdienen drei von neuerer Construction besondere Erwähnung. Nämlich: die Kettenbrücke, welche über die Meerenge von Menai führt und die durch letztere von Nord-Wales getrennte Insel Anglesea mit der Grafschaft Caernarvon verbindet. Der Bau dieser Brücke wurde 1819 begonnen und dieselbe am 30. Januar 1826 eröffnet. Bis dahin war dieses Bauwerk in seiner Art an Grossartigkeit ohne Gleichen. Die Entfernung zwischen den Kettenthürmen der mittelsten Oeffnung misst 580 Fuss und die von den Thürmen nach den Zollhäuschen beinahe halb so viel. Wird zu dieser Länge noch die nach den Befestigungspunkten der Ketten gefügt, so stellt sich die Gesamtlänge jeder der Hauptketten auf 1750 Fuss, oder beinahe $\frac{1}{3}$ mile, heraus.

Die Höhe vom niedrigsten Wasserstande bis oberhalb der Sättel auf den Kettenthürmen beträgt 181 Fuss und von

da herab bis zur Brückenbahn 60 Fuss. Die Breite der Brückenbahn enthält 30 Fuss und ist in zwei Fahrwege und einen dazwischen liegenden Fussweg eingetheilt. Von der Anglesea-Seite her führen vier steinerne Bogen und von der Caernarvon-Seite drei solche, jeder von 52 Fuss 6 Zoll Weite, bis zu den Kettenthürmen. Neben dieser Brücke ist noch der Conway-Kettenbrücke mit 327 Fuss Spannweite zu gedenken, sowie noch einer gusseisernen Brücke von einem Bogen mit 105 Fuss Oeffnung, welche die Strasse nach Shrewsbury über den Fluss Conway, oberhalb Llanrust, führt.

Die Eisenbahn, sobald sie Chester verlässt, läuft auf einer gusseisernen Balkenbrücke, deren an einer früheren Stelle schon gedacht worden, über den Dee-Fluss, durchschneidet dann eine landwirthschaftlich benutzte Fläche, indem sie das Wales'sche Gebirge links im Hintergrunde lässt, und nähert sich fast direct der Stadt Conway, in deren Nähe sie $1\frac{1}{4}$ mile lang auf einer 60 Fuss hohen Ufermauer, einem fast eben so langen Viaduct mit 42 Fuss weiten Oeffnungen, die durch eiserne Balken überbrückt sind, und gleich darauf durch einen 235 Fuss langen Tunnel, fortgeführt ist. Für den Uebergang über den Fluss Conway wurde die erste röhrenförmige Brücke hergestellt, und ungefähr 18 miles weiter gab die Meerenge von Menai Gelegenheit zu dem noch weit kühnerem Bauwerke der Britannia-Brücke, welcher Name einem Felsen entnommen ist, der zu Zeiten der Ebbe über den Wasserspiegel auftaucht und zur Gründung des mittelsten Brückenpfeilers benutzt wurde. Dem Ausspruche der Admiralität zu Folge, dass unter allen übrigen Häfen, zwischen dem zu Holyhead und zu Kingstown bei Dublin, die kürzeste Entfernung der gegenüberliegenden Küsten von Irland und England stattfinde, und mit Berücksichtigung, dass die Wendung der Bahn nach jedem anderen Hafen, eine grössere Länge derselben verursachen würde, als deren Richtung nach Holyhead, wurde letztere unter der Voraussetzung angenommen, dass die Schwierigkeit einer Ueberbrückung der Enge von Menai überwunden werden würde.

Nach vielseitigen Betrachtungen und Untersuchungen, ob und in welcher Art die schon bestehende Kettenbrücke für die

Passage von Dampfwagenzügen benutzt werden könnte, stellte sich jedoch die Nothwendigkeit heraus, die Eisenbahn auf einer besonderen Brücke von Caernavon nach der Insel Anglesea hinüber zu führen. In einem Berichte, welchen Sir John Rennie deshalb ausarbeitete, brachte derselbe in Erinnerung, dass schon vor einem halben Jahrhundert das Eisen als geeignetes Material zur Herstellung einer fixen Brücke über die Enge von Menai in Vorschlag gekommen sei und zwar im Jahre 1802 durch seinen Vater, den verstorbenen Rennie, welcher an der Stelle der Enge, „Ynys y Moch“ genannt, deren Ueberbrückung durch einen einzigen 450 Fuss weit gespannten gusseisernen Bogen, der bei Hochwasserstand noch 100 Fuss lichte Höhe gewährt haben würde, projectirte. Zu beiden Seiten dieses Hauptbogens schloss sich eine Reihe kleinerer Bogen von Stein an, die das Profil zwischen dem Caernarvon-Ufer und dem von Anglesea vollends ausfüllten.

Die Verbindung der gegenseitigen Ufer durch drei gusseiserne Bogen, jeder von 350 Fuss Weite und 150 Fuss Stichhöhe, schlug Rennie gleichzeitig an einer anderen, um 800 Fuss von der soeben genannten entfernten, und unter dem Namen „Swilly Rocks“ bekannten, Stelle vor.

Die Lage, welche Stephenson schliesslich für die Errichtung der fraglichen Brücke gewählt hat, weicht jedoch von der Ansicht seines Vorgängers ab und ist nur durch den in der Mitte der Wasserstrasse vorhandenen Britanniafelsen zu rechtfertigen, da dessen Ausdehnung sich für die Gründung eines Mittelpfeilers als hinreichend erwies. Derselbe liegt etwa eine Mile weiter östlich von der Menai-Kettenbrücke.

Bei Entscheidung über die Form der zu erbauenden Brücke bezieht sich Stephenson, der Direction der Holyhead- und Chester-Eisenbahn gegenüber, in Betreff der Benutzung des Kettenbrückensystems, auf eigene Erfahrungen, die er bei Erbauung der Stockton- u. Darlington-Eisenbahn an einer Brücke über den Tees zu machen Gelegenheit gehabt hatte, welche sich als gänzlich misslungen herausstellte. Die Schwankungen dieser Hängebrücke nach dem Uebergange der ersten Züge waren so bedeutend, dass der Einsturz die Brücke bedrohte und sofort Anstalten getroffen

werden mussten, die Brückenbahn von Unten her durch gewöhnliche Holzsprengwerke zu unterbauen. Da man dabei immer noch auf die Beihülfe der Ketten rechnete, so fanden die Undulationen der Brücke nach wie vor Statt und verursachten sehr bald die Zerstörung des Unterbaues, weshalb die ganze Brücke abgetragen und umgebaut wurde.

Eine dauerhafte und stabile Construction wurde nach diesen Vorstellungen für unvermeidlich erachtet und anfänglich ein Vorschlag Stephenson's in Betracht gezogen, die Enge von Menai durch zwei 450 Fuss gespannte gusseiserne Bogen zu überbrücken und zwar so, dass noch 100 Fuss Höhe vom höchsten Wasserspiegel bis zum Scheitel der Bogen erübrigt würde. Da es Bedingung war, der Schifffahrt den Weg nicht durch Gerüste zu versperren, so sollten die beiden auf dem Mittelpfeiler ruhenden Bogenschenkel symmetrisch nach und nach aufgeführt und gegenseitig in der Art durch Zugbänder verbunden werden, dass das Gewicht des einen Schenkels immer das des anderen balancirte.

Die Admiralität jedoch, welche bei derartigen Bauten stets die entscheidende Autorität besitzt, verlangte, dass die lichte Höhe zwischen Hochwasser und den tiefsten Punkten, oder den Widerlagern der Brückenbogen, nicht unter 100 Fuss betragen dürfe. Um hierauf dasselbe Project, wenigstens im Allgemeinen, beizubehalten, hätte der ganze Bau noch um 50 Fuss über das gegebene Niveau der Eisenbahn erhöht werden müssen, wodurch ein beträchtlicher Mehraufwand an Kosten erwachsen wäre.

Unter solchen Umständen wurde beschlossen von der Bogenform ganz und gar abzusehen und eine geradlinige Constructionsform zu suchen, welche die erforderliche Festigkeit und Unbiegsamkeit besitzt, um die vorgeschriebenen Lasten über Oeffnungen von 450 Fuss Weite tragen zu können, und deren Herstellung ohne irgend welche Behinderung der Schifffahrt möglich sei.

Zur Lösung des vorliegenden Problems empfahl Stephenson das Walzeisen als das geeignetste Material, und dessen Zusammenfügung nach Art der röhrenförmigen Balken oder Joche als die beste Gestalt, unter den gegebenen Verhältnissen. Zur Umgehung der Schwierigkeiten wegen der Rüstungen wurde beschlossen, dass jede der Röhren an

irgend einem unbenutzten, von ihrer späteren permanenten Lage nicht zu entfernten Orte gefertigt, und dann im Ganzen an ihre Stelle gehoben werden sollte. Sowohl über die besondere Querschnittsform, welche den Röhren zu geben war, als über die Bestimmung der Dimensionen und Massenanordnung des Materials, wurde nach den Resultaten einer Reihe zu diesem Behufe angestellter Experimente entschieden, deren Ausführung William Fairbairn übernahm und deren Ergebnisse E. Hodgkinson in practische Formeln zusammenfasste. Die Untersuchungen dieser Herren fügte Stephenson seinem Berichte bei und übergab selbigen dem Directorium der Eisenbahngesellschaft im Februar 1846.

Nachdem in der nächsten Abtheilung die allgemeinen Grundzüge angeführt sind, welche alle Balken- oder Joch-Brücken, gleichviel ob röhrenförmig oder solid, gegen diejenigen, deren Tragfähigkeit in der Bogenform beruht, voraushaben, ist daselbst das Wesentlichste des erwähnten summarischen Rapports mitgetheilt.

6. Abschnitt.

Allgemeine Unterschiede zwischen den Balken- oder Joch-Brücken und den Bogenbrücken — Fairbairn's Versuche und Bericht über die Festigkeit der röhrenförmigen Träger, Hodgkinson's Versuche und Bericht — Stephenson's Bericht.

Die ältesten Gelehrten, welche versucht haben, die Gesetze zu entwickeln, von denen die relative oder die Festigkeit der Körper gegen Biegung, abhängig ist, nämlich Galliläi und Leibnitz, hielten den von Bernoulli zuerst aufgestellten, aber in der fälschlichen Annahme bestehenden Grundsatz fest, dass alle Theilchen eines Balkens, der eine Biegung erleidet, sich in dem Zustande der gegenseitigen Trennung oder der Dehnung befinden, und dass das Zerbrechen eines Balkens die einzige Folge der Ueberschreitung dieser Dehnbarkeit ist. Später berichtigte Bernoulli selbst das Feh-

lerhafte dieser Voraussetzung und zeigte, dass die einzelnen Theilchen eines belasteten Trägers an der einen Seite, auf welcher die Belastung zunächst liegt, in einen anderen Zustand versetzt werden, als die an der gegenübergelegenen Seite. Diese Thatsache bestätigt sich sichtbar an der gebogenen Gestalt, welche ein belasteter Balken annimmt. Die beladene Seite nämlich, bildet sich concav und die entgegengesetzte convex. An der concaven Seite erleiden die Theilchen eine Zusammendrückung, während dieselben an der convexen einer Dehnung ausgesetzt sind. Aus diesem Umstande folgerte nun Bernoulli die Existenz einer Ebene, welche die Grenze der Zusammendrückung und Dehnung bezeichnet, deren Länge bei der Biegung eines Balkens weder verkürzt noch gedehnt wird, und die deshalb die Benennung „neutrale Axe“ des Balkens erhalten hat. Dieses beiderseitige, entgegengesetzte Bestreben der Partikeln eines rechtwinklich zu seiner Längenausdehnung gedrückten Trägers bewirkt, dass der auf seine Auflager übertragene Druck sich daselbst nur in verticaler Richtung äussert, wenn die Gestalt des Trägers durch übertriebene Belastung nicht soweit verändert wird, dass seine Enden anfangen einer Bewegung zu folgen.

Ein Wölbbogen hingegen erzeugt bekanntlich einen seitwärts gerichteten Druck gegen seine Widerlager, die deshalb nach Aussen zu weichen streben. Sämmtliches Material des Bogens erfährt dabei Compression, welcher nur die Elasticität des ersteren entgegenwirkt. Als Beispiel des entgegengesetzten Strebens seien die hängenden Bögen, wie sie bei den Hängebrücken vorkommen, angeführt. Hier wird die absolute oder die Festigkeit des Materials der Ketten und Seile gegen Dehnung in Anspruch genommen, und eine Belastung des Bogens strebt die Thürme oder Aufhängepunkte einander zu nähern.

Um das Maximum der Festigkeit und Tragfähigkeit der gewölbten, hängenden und Joch-Brückenform zu gewinnen, muss die Richtung des schliesslich auf die Widerlager ausgeübten Druckes bei allen Formen möglichst vertical gerichtet sein. Daher giebt man unter gewölbten Bögen der halbkreisförmigen Bogenform so häufig den Vorzug; denn je flacher ein Bogen wird, oder je mehr dessen Stichhöhe ver-

ringert wird, desto mehr verliert derselbe verhältnissmässig an Festigkeit, oder desto stärker wird die Festigkeit des Wölbmaterials beansprucht. Ebenso opfert man bei Hängebrücken um so mehr von der Festigkeit der Ketten oder Drahtseile, je flacher dieselben gespannt sind. Die sogenannten Kämpfer bei Gewölben, und die Sättel auf den Thürmen der Hängebrücken sind Vorkehrungen, um den auf sie geäusserten Druck möglichst gleichmässig nach verticaler Richtung auf die Widerlager und Thürme zu übertragen. Bei einem Wölbbogen mit Widerlagern, oder einem Hängebogen mit Thürmen, sind noch andere Theile wesentlich um das Gleichgewicht der Bögen zu sichern. Ein Gewölbe bedarf nämlich einer Belastung seiner beiden Schenkel, d. i. einer Hintermauerung, und eine hängende Kette der sogenannten Spann- oder Zugketten ausserhalb der Thürme.

Von Trägern oder Balken verlangt man hingegen, dass sie einer Belastung durch das gleichzeitige und entgegengesetzte Streben der Compression und Dehnung der Theilchen, zu beiden Seiten ihrer neutralen Axe, widerstehen, so dass der Druck, den sie an ihren Enden auf die Unterlagen äussern, vertical gerichtet ist und wie eine directe Belastung der letzteren wirkt. Um nun die Bedingungen des Gleichgewichts eines Balkens zu verwirklichen, müssen dessen Dimensionen und Verhältnisse mit Rücksicht auf den Grad der Festigkeit gewählt werden, den das Material der Zusammendrückung und der Dehnung entgegenstellt. Diese Festigkeit ist aber abhängig von der Höhe, Breite, Länge und der Natur des Materials des Trägers und zwar ist sie der Breite, und dem Quadrat der Höhe direct, der Länge des Trägers aber indirect proportional.

Wenn s den Festigkeitscoefficienten für die verschiedenen Materiale bedeutet, ferner b die Breite eines Trägers in Zollen, d dessen Höhe in Zollen, l seine Länge in Fussen und w die Belastung in Pfunden; so ist die allgemeine Formel, welche die Festigkeit des Trägers oder Joches ausdrückt:

$$w = \frac{s \cdot b \cdot d^2}{l}$$

Der Werth des s für verschiedene Stoffe, welche sich zur Herstellung von Trägern eignen, ist durch Brechversuche

für den Fall bestimmt worden, dass jene an den Enden unterstützt und in der Mitte beschwert sind. Man erhielt so für:

Gusseisen	2548	Kiefer	447
Walzeisen	2050	Tanne	415
Eschenholz	675	Weisstanne	376
Eiche	588	Lerchenholz	280.
Fichte	544		

Die hiernach gefundenen Belastungen erreichen aber die Gränze der Festigkeit und bewirken den Bruch der Balken. Man begnügt sich daher in der Praxis, nur den dritten Theil der äussersten Festigkeit zu beanspruchen. Vorstehende Formel giebt ferner die Festigkeit eines Balkens nur dann an, wenn die Belastung in seiner Mitte an einem Punkte aufgehäuft ist, während in der Wirklichkeit die Belastung sich mehr oder weniger über die ganze Länge vertheilt. Wenn aber die Belastung gleichmässig über den Träger verbreitet wird, so ist dessen Festigkeit doppelt so gross als wirkte die nämliche Last nur auf die Mitte. Daher gestaltet sich die Formel, welche die noch zulässige Maximalbelastung angiebt, so:

$$w = \frac{s}{3} \frac{2 \cdot b \cdot d^2}{l}$$

Fairbairn's und Hodgkinson's Versuche zeigten, dass diese Formel für Gusseisen einen etwas zu grossen Werth angiebt. Die Barren an denen sie ihre Versuche anstellten, waren von verschiedener Länge, Breite und Höhe. Die Resultate wurden daher, um sie brauchbar zu machen, alle auf ein und denselben Querschnitt und eine Länge reducirt, nämlich auf einen Stab mit dem gleichförmigen Querschnitt von 1 Zoll Höhe und Breite und 54 Zoll Länge, für welchen dann die brechende Belastung im Durchschnitt aus 52 Versuchen 449,36 Pfund betrug. Multiplicirt man dieses Gewicht mit 54, oder mit der Länge des Stabes für den dasselbe gilt, so erhält man die Festigkeit auf einen Zoll der Länge zu 10 Tonnen 16,6 Centner oder beinahe zu 11 Tonnen. Für jeden beliebigen Balken oder Träger von rechteckiger Gestalt findet man dessen Festigkeit, indem man diese Durchschnittsbelastung von 11 Tonnen mit dem Inhalte seiner Querschnittsfläche sowie seiner Höhe multiplicirt und durch dessen ganze Länge dividirt. Alle Dimensionen in Zollen

verstanden, giebt als Resultat das Gewicht, welches dem Bruch eines Balkens verursachen würde, in Tonnen an. Um ein Beispiel anzuführen, sei die Festigkeit eines gusseisernen Balkens, bei mittlerer Güte des Eisens und rechteckigem Querschnitte, zu bestimmen, wenn dessen Breite 2 Zoll, dessen Höhe 5 Zoll und die Länge zwischen seinen Auflagern 5 Fuss oder 60 Zoll beträgt:

$$\frac{11. 10. 5}{60} = 9,16 \text{ Tonnen.}$$

Nach der zu gleichem Zwecke angeführten Formel:

$$\frac{s. b. d^2}{l.} = w$$

würde hingegen, wenn für Gusseisen $s = 2548$ eingesetzt wird, sich als brechende Belastung des nämlichen Balkens herausstellen:

$$\frac{2548. 2. 25}{5} = 11 \text{ Tonnen } 7,25 \text{ Centner.}$$

Die rechteckige Querschnittsform der Träger wäre unter der Voraussetzung, dass die Festigkeiten, die das Material dem Zusammendrücken und der Dehnung entgegenstellt, gleichgross sind, die wirksamste; allein Versuche haben gelehrt, dass dies bei einigen Materialien, aus denen Träger gebaut werden, nicht der Fall ist. Gusseisen z. B., widersteht dem Zerdrücken mit der sechsfachen Festigkeit, die beim Zerreißen zu überwinden ist. Daraus folgt, dass, um mit einer gegebenen Quantität Material die grösste Tragfähigkeit eines gusseisernen Trägers zu erlangen, die untere Seite desselben, welche der Dehnung ausgesetzt ist, sechsmal soviel Eisen im Querschnitte enthalten muss, als dessen oberer Theil.

Da ferner die oberste Begrenzung eines Trägers, die stärkste Zusammendrückung, die unterste Seite hingegen die stärkste Dehnung erfährt; so muss demgemäss die Anordnung des Materials in grösserer Menge nach diesen Grenzen hin geschehen. Sonach würde der Querschnitt eines solchen Trägers die Gestalt zweier gerader, mit den Spitzen einander berührender Kegel haben. Allein die Gestalt, welche man in der Praxis für gusseiserne Träger oder Joche vorzieht, ist die doppel-T förmige, wobei der Querschnitt der oberen

Flange sich zu dem der unteren wie 1 zu 6 verhält und der des mittleren verticalen Halses nur sehr unbedeutend ist.

Durch Annahme einer derartigen Querschnittsform gewinnt man, wie durch Versuche ermittelt worden, noch $\frac{8}{11}$ der Festigkeit, welche sich für einen rechteckigen Querschnitt des Balkens herausstellt, so dass also der Balken, der bei letzterer Form 11 Tonnen trägt, bei einer doppel-T förmigen, mit 19 Tonnen belastet werden kann. Theorie und Erfahrung bestätigen, dass der Querschnitt eines Trägers in dessen ganzer Länge nicht gleichförmig derselbe zu sein braucht. Da die Tragfähigkeit eines Joches oder Balkens seiner Länge umgekehrt proportional ist, so kann vielmehr seine Querschnittsfläche von der Mitte gegen die Enden hin abnehmen, was durch eine gerad- oder krummlinige äussere Begrenzung des Joches bewerkstelligt wird.

An diese flüchtigen Bemerkungen über gewölbte, Hänge- und Balken- oder Joch-Brücken, von welchen letzteren nur die gusseiserne Form betrachtet worden ist, reihen sich nun im Folgenden die mit dem Walzeisen in Trägeregestalt angestellten Versuche und daraus gezogenen Erfahrungen, sowie der Vergleich der betreffenden Eigenschaften beider Metallformen. Das Gefüge des Walzeisens unterscheidet sich wesentlich von dem des Gusseisens; ersteres ist faserig, letzteres krystallinisch, daher übertrifft die Cohäsion des Walzeisens oder die Kraft, mit welcher dasselbe dem Zerreißen widersteht, die des Gusseisens sehr bedeutend. Im englischen Stabeisen beträgt erfahrungsgemäss die Cohäsion pro Quadratzoll Querschnittsfläche 25 Tonnen, im russischen Stabeisen 26,7 Tonnen und im Schwedischen sogar 29,2 Tonnen, woraus sich ein Durchschnittswerth für Walzeisen im Allgemeinen, von 27 Tonnen herleitet, während derselbe für Gusseisen nur 7,87 Tonnen beträgt; so dass also diese beiden Eisenarten sich bezüglich ihrer Cohäsion nahezu wie 27 zu 8 verhalten. Durch die eben angeführten Gewichte wird aber die Cohäsion des Eisens gerade aufgehoben, daher beansprucht man von derselben höchstens nur den dritten Theil.

Die Elasticität des Eisens, vermöge welcher dasselbe nach Entfernung einer dehnenden Ursache seine frühere Gestalt völlig wieder einzunehmen strebt, ist weit geringer

als die Cohäsion und zwar beträgt sie nach Barlow's Versuchen bei gutem Walzeisen auf den Quadratzoll Querschnittsfläche im Durchschnitt 9 Tonnen. Man überschreitet sonach bei Beanspruchung des dritten Theiles der Cohäsion, die Grenze der vollkommenen Elasticität des Walzeisens noch nicht.

Ueber die relative oder die Festigkeit, walzeiserner Stäbe mit rechtwinklichem Querschnitt, gegen Biegung innerhalb der Elasticitätsgrenzen, hat Barlow bei Erörterung der zweckmässigsten Form für Eisenbahnschienen Versuche angestellt; indem er Stäbe von $1\frac{1}{2}$ Zoll Breite, 3 Zoll Höhe und 33 Zoll Länge in der Mitte beschwerte. Folgende Tabelle enthält eine Uebersicht der bei zwei solchen Stäben beobachteten Durchbiegungen:

Belastung in Tonnen.	Durchbiegung.		
	1. Stab. Zoll.	2. Stab. Zoll	Durchschnitt aus beiden Stäben.
0,5	0,059	0,017	0,038
1,0	0,074	0,037	0,055
1,5	0,083	0,052	0,067
2,0	0,095	0,061	0,078
2,5	0,101	0,064	0,082
3,0	0,109	0,078	0,093
3,5	0,126	0,089	0,104
4,0	0,131	0,102	0,117
4,5	0,148	0,124	0,136

Bei der Belastung von $4\frac{1}{4}$ Tonnen war die Elasticität bei diesen Schienen noch wirksam, wurde aber mit $4\frac{1}{2}$ Tonnen überwunden. Die stärkste Durchbiegung, welche die Schienen ohne Beeinträchtigung ihrer Elasticität aushielten, liegt daher zwischen 0,117 und 0,136 Zoll, oder betrug im Mittel 0,126 Zoll. Die Elasticität des Gusseisens ist weniger als halb so gross; denn die Maximalsenkung eines Barren von denselben Dimensionen, wie die obigen, betrug nur 0,0504 Zoll.

Die Gestalt des Querschnittes walzeiserner Träger ist für deren relative Festigkeit ebenfalls von wesentlichem

Einflüsse. Dies ist durch Versuche mit einem doppel-T förmigen Träger von derselben Menge Material, derselben Länge und Höhe wie die Schienen, welche zu Barlow's Untersuchungen dienten, bestätigt worden. Der obere und untere Theil des Querschnittes dieses Trägers war $2\frac{1}{2}$ Zoll breit und $\frac{3}{4}$ Zoll stark, sein Hals nur $\frac{1}{2}$ Zoll breit. Dieser kurze Balken trug $6\frac{1}{2}$ Tonnen, ohne dass seine Elasticität überwunden wurde, während die rechteckigen Schienen von gleich grosser Querschnittsfläche nur 4,25 Tonnen zu tragen vermochten. Der Gewinn an Festigkeit betrug sonach fast 1,93 Tonnen oder beinahe 45 Procent.

Die rückwirkende Festigkeit des Walzeisens ist ebenfalls ansehnlicher als die des Gusseisens und zwar verhält sich jene bei letzterem zu der bei ersterem wie 6 zu 7.

Die drei bisher hervorgehobenen Eigenschaften des Eisens, welche für Constructionen den Werth seiner beiden Formen ausmachen, lassen sich, nach ihren gegenseitigen Verhältnissen, in folgende Reihe zusammenstellen, aus welcher die Ueberlegenheit des Walzeisens gegen das Gusseisen hervortritt:

	bei Gusseisen;	bei Walzeisen
Cohäsion	wie 8	zu 27
Elasticität	2	5
Rückwirkende Festigkeit	6	7.

Kennt man nun das Verhältniss, in welchem eines der beiden Materialien zwei Eigenschaften besitzt, so kann man leicht eine gleichnamige des anderen Materials hiernach ableiten. Weiss man z. B., dass Gusseisen dem Zerdrücken 6 Mal soviel Widerstand leistet als dem Zerreißen, d. h., dass dessen rückwirkende Festigkeit 6 Mal grösser als seine Cohäsion ist, und wird der Werth der Cohäsion (nach vorstehender Uebersicht) mit 8 bezeichnet, so entspricht die rückwirkende Festigkeit der Zahl 48. Die rückwirkende Festigkeit des Walzeisens mit der des Gusseisens verglichen, übertrifft, wie man sieht, diese um $\frac{1}{6}$, daher gestaltet sich der Werth jener im Verhältniss zur Cohäsion des Gusseisens, zu: $48 + 8 = 56$, woraus folgt, dass während für diese beiden Eigenschaften bei letzterem Material das Verhältniss von 8 : 48 stattfindet, beim Walzeisen das von 27 : 56, oder fast von 1 : 2 Geltung hat. Hiernach leuchtet ein, warum die stärkste Form walzeiserner Träger nicht dieselbe sein

kann wie für gusseiserne, dass vielmehr, während bei diesen die untere Seite 6 Mal mehr Masse als die obere haben sollte, bei jenen der Fuss nur einen doppelt so grossen Querschnitt, als der obere Theil bedarf. Der Unterschied dieser Umstände hängt jedenfalls von der Verschiedenheit der beiderseitigen Gefüge ab, vermöge welcher auch beim Gusseisen eine vollständige Trennung der Theilchen erfolgt, ehe es dem Zerdrücken nachgiebt, während faserige Materialien, wie Walzeisen, sich blättern oder in dünne Schichten spalten, wenn sie übermässig gedrückt werden.

Alles bisher Angeführte bezieht sich nur auf massive Balken oder Träger. Für hohle Träger oder Röhren haben die Versuche Fairbairn's, bei Bestimmung der Dimensionen für die röhrenförmigen Joche der Britanniabrücke, andere Verhältnisse ergeben.

Um über die Querschnittsform dieser Joche entscheiden zu können, wurden Versuchsröhren mit verschiedenen kreisrunden, elliptischen und rechteckigen Querschnitten hergestellt.

Die cylindrischen Röhren wurden der Prüfung zuerst unterworfen. Ihre Längen zwischen den Stützpunkten variirten von 15 Fuss $7\frac{1}{2}$ Zoll bis 31 Fuss $3\frac{1}{4}$ Zoll, ihr Durchmesser, von 12 Zoll bis zu 24,3 Zoll und die Stärke des Bleches, woraus die Röhren gemacht waren, von 0,037 oder $\frac{1}{27}$ Zoll bis zu 0,135 oder $\frac{2}{15}$ Zoll. Die Belastung, welche den Bruch dieser Röhren herbeiführte, betrug von 2704 Pfunden bis zu 14240 Pfunden. Die beiden kleinsten, dünnsten und schwächsten dieser Röhren gaben nach, indem sie an der oberen Seite eingedrückt wurden. Der Mangel an Steifigkeit dieser Röhren gab sich dadurch, im Vergleich zu deren Festigkeit gegen Dehnung (an der Unterseite), zu erkennen. Die sieben übrigen Röhren zerrissen an der Unterseite durch die Reihen der Nietlöcher. Dabei war genau genommen weder die Cohäsivkraft noch die Steifigkeit des die Fläche des Röhrenquerschnitts erfüllenden Materials wirksam gewesen; weil durch die Nietlöcher der scheinbare Querschnitt der Bleche ansehnlich vermindert wird. Nur dieser reducirte Querschnitt kann in Betracht gezogen werden. In folgender Tabelle sind neun Versuche mit ihren Resultaten enthalten.

Cylindrische Röhren.

Lfd. Num- mer der Versuche.	Länged. Röh- ren zwischen d. Auflagern.	Durch- messer d. Röhren.	Flächeninhalt des Querschnitts.	Stärke des Blechtes	Aeusserste Durch- biegung.	Brechende Belastung.	Art des Nach- gebens der Röhren.
	Fuss. Zoll.	Zoll.	Quadrat-Zoll.	Zoll.	Zoll.	Pfund.	
1	17	0	112,1	0,0370	0,65	2704	Auf der Oberseite eingedrückt.
2			116,5	0,0408	0,39	3040	
3	15	7 1/2	120,8	0,1310	1,29	11440	An der Unter- seite durch die Niet- löcher zer- rissen.
4			261,9	0,0582	0,56	6400	
5	23	5	245,5	0,0631	0,74	6400	
6			236.	0,1190	1,19	14240	
7			452,4	0,0954	0,63	9760	
8	31	3 1/4	460.	0,0954	0,74	10880	
9			463,8	0,1350	0,95	14240	

Vorausgesetzt, dass die Nachgiebigkeit bei den Versuchen 4—9 durch die Querschnittsverminderung der Bleche in den Nietstellen verursacht worden und dass jene im Verhältniss zu der Schwächung steht, welche die Nietlöcher den Blechen zufügen, so hätte man für jeden vorliegenden Fall bei Bestimmung der Grösse des erforderlichen Blechquerschnittes, denselben an den Nietstellen stets um so viel zu vermehren, als die Nietlöcher denselben verringern. Die beiden Versuche 4 und 5 geben hierfür ein Beispiel. Die Röhren haben bei ein und derselben Länge fast denselben Durchmesser, aber die Blechstärken sind in dem Verhältnisse verschieden, dass bei beiden die brechende Belastung die nämliche ist. Der Vergleich dieser Versuche mit dem unter 6 zeigt, dass eine Röhre von gleicher Länge und gleichem Durchmesser, aber beinahe doppelter Blechstärke, auch das doppelte Gewicht bedurfte ehe ihre Festigkeit überwunden ward. Aus den Versuchen 7—9 ersieht man noch deutlicher wie sich die mögliche Belastung einer Röhre mit deren Blechstärke verändert. Bei No. 7 und 8 betrug der Unterschied des aufgelegten Gewichts nur 11 Procent. Die Röhre für den 9. Versuch hingegen, hielt mit einer circa 50 Procent grösseren Blechstärke, auch eine ziemlich in demselben Maasse stärkere Belastung aus. Zwischen dem 3. und 8., sowie 5. und 9. Experiment, ist noch ein anderer nützlicher Vergleich anzustellen. Nämlich, unter No. 8 ist eine Röhre von doppelter Länge und doppeltem Durchmesser, also dem vierfachen Querschnitt und dem achtfachen Volumen, wie die unter No. 3, beschwert worden. Die Bleche waren im Verhältnisse von 95 : 131 dünner, demohngeachtet trug die Röhre bei No. 8 fast dasselbe Gewicht wie die bei No. 3 ehe sie brach. Die Röhre für den 9. Versuch hatte gegen jene für den 3. ebenfalls doppelte Länge und doppelten Durchmesser, oder den doppelten Querschnitt und das achtfache Volumen. Die Blechstärken aber waren im Verhältniss von 125 : 131 verschieden, also einander beinahe gleich, und dennoch war die brechende Belastung der längeren Röhre ansehnlich grösser als bei der kürzeren. Bei letzterer betrug sie nämlich 5,1 Tonnen, während sie bei ersterer auf 6,3 Tonnen stieg. In allen sieben Versuchen von 3—9 rissen die Röhren

Eine andere Reihe von Versuchen wurde an elliptisch-geformten Röhren angestellt, deren Ergebnisse folgende Tabelle enthält:

Einige Böcher

Elliptische Röhren.

Lfd. Nummer der Versuche.	Länge d. Röhren zwischen d. Auflagern.		Durchmesser.	Flächeninhalt des Querschnitts.	Stärke des Bleches.	Aeusserste Durchbiegung.	Brechende Belastung.	Art des Nachgebens.
	Fuss.	Zoll.		Quadrat-Zoll.	Zoll.	Zoll.		
10	17	0	{ 14,62 9,25 }	106,2	0,0416	0,62	2100	An der Oberseite eingedrückt.
11	17	6	{ 15,00 9,75 }	114,9	0,1430	1,39	15000	An beiden Seiten zerplatzt.
12	24	0	{ 21,25 14,12 }	235,7	0,0688	0,45	7270	An der Oberseite eingedrückt.
13	24	0	{ 21,66 13,50 }	229,7	0,1320	1,36	17076	An der Unterseite zerrissen.
*) 14	18	6	{ 12,00 7,50 }	70,7	0,0775	0,95	6867	An der Oberseite eingedrückt.

*) Diese Röhre war auf der Oberseite mit einer Rippe versehen, wie ein Fisch mit der Rückenflosse.

Bei allen diesen Versuchen erwiesen sich die Röhren an der oberen Seite als zu schwach, indem dieselben stets durch Zusammendrücken mehr oder minder verunstaltet wurden. Die Blechstärken der Röhren im 10. und 11. Versuche verhalten sich wie 1 : 3,5 und ihre relativen Festigkeiten gestalten sich nach dem gegenseitigen Verhältniss von 1 : 7,5. In den Versuchen unter 12 und 13 spricht sich der Vorthail starker Bleche wiederum deutlich aus, denn der Unterschied der Blechstärken nach dem Verhältniss von 69 : 132, erhöht die Tragfähigkeit der Röhren im Verhältniss von 73 : 171. Die Röhre unter No. 14 war nur 1 Fuss länger als die unter No. 11, hielt dennoch weniger als die Hälfte der Belastung der letzteren aus und wurde ohngeachtet der Rippe an ihrer Oberseite, an dieser eingedrückt.

Um einen bildlichen Vergleich für die geringe Steifigkeit zu dünner Bleche zu geben, seien dieselben mit einem Blatt Papier verglichen, welches wie bekannt, bedeutende Cohäsion oder absolute Festigkeit besitzt, und in dicken Lagen ebenfalls dem Einstauchen oder Eindrücken ziemlich gut widersteht, aber einzeln sogleich seine ebene Form verliert, sobald man nur schwach an zwei entgegengesetzte Kanten drückt.

Die dritte Versuchsreihe über die Festigkeit der röhrenförmigen Träger gegen Biegung, umfasste Röhren mit rechteckigen Querschnitten, und wies sofort den Vorzug dieser Trägerform gegen die beiden vorerwähnten nach. Fairbairn empfahl daher auch die rechteckige Querschnittsform in seinem Rapporte, als die geeignetste für Herstellung der Britanniabrücke.

Die nachstehende Tabelle giebt eine vergleichende Uebersicht dieser Versuche mit rechteckigen Röhren.

Versuchs- No.	Länge in Fuss	Breite in Fuss	Höhe in Fuss	Belastung in Tons	Bruch- ort	Bemerkungen
10	10	1	1	10	Obere Seite	
11	11	1	1	11	Obere Seite	
12	12	1	1	12	Obere Seite	
13	13	1	1	13	Obere Seite	
14	14	1	1	14	Obere Seite	

Rechteckige Röhren.

Lfd. Nummer der Versuche.	Länge d. Röhren zwischen d. Auflagern.		Höhe	Breite.	Flächeninhalt des Querschnitts.	Stärke des Bleches an		Aeusserste Durchbiegung.	Brechende Belastung.	Art des Nachgebens.
	Fuss.	Zoll.	Zoll.	Zoll.	Quadrat-Zoll.	d. Decke.	d. Boden.	Zoll.	Pfund.	
15	17	6	9,6	9,6	92,16	0,075	0,075	1,10	3738	d. Eindrückung.
16						0,272	0,075	1,13	8273	d. Zerreißen.
17						0,075	0,142	0,94	3788	d. Eindrückung.
18						0,147	0,075	1,88	7148	d. Zerreißen.
19	17	7	18,25	9,25	168,81	0,059	0,049	0,93	6812	Durch Eindrückung.
20						0,149	0,059	1,73	12188	
21	18	—	13,25	7,5	99,37	0,142	0,142	1,71	13680	Zerstörung der Seiten.
22	24	—	15,00	9,25	138,75	0,160	0,160	2,66	17600	
*) 23	18	6	13,00	8,00	104,00	0,066	0,066	1,19	8812	Zerstörung der Seiten.
**) 24	19	—	15,40	7,75	119,35	0,230	0,180	1,59	22469	

*) Diese Röhre hatte eine Flosse an der Decke und einen cilindrisch geformten Boden.

**) - - - gefurchte oder gewellte Decke.

Die vier Experimente unter 15 bis 18 wurden an Röhren mit quadratischen Querschnitten vorgenommen. Bei den übrigen Versuchen übertraf die Höhe der Röhren deren Breite mehr oder weniger. Der Vortheil einer Vergrößerung der Höhe geht aus dem Vergleich der Versuche 18 und 20 hervor. Die Röhre bei No. 20 hatte nämlich beinahe die doppelte Höhe und bedurfte daher auch nahezu der doppelten Belastung, um nachzugeben. Dabei verdient der Unterschied in der Art des Nachgebens Beachtung. Die rektanguläre Röhre wurde zusammengedrückt, während die quadratische zerriss, woraus hervorgeht, dass die Cohäsion des Materials bei ersterer noch nicht erschöpft war. Ausserdem lehren obige vier Versuche, dass durch blosse Verstärkung der Decke die Festigkeit der röhrenförmigen Balken erhöht wird; denn während bei dem 15. Versuche die Röhre an der Oberseite eingedrückt wurde, nahm durch Vermehrung der Deckenstärke um 0,197 Zoll, die Festigkeit der Röhre um mehr als das doppelte zu, und wurde zuletzt durch Zerreißen des Bleches am Boden überwunden. Dass durch Verdoppelung der Bodenstärke kein Vortheil erlangt wird, ist aus dem Vergleich des 15. und 17. Beispiels zu ersehen, wo die Röhre dennoch eingedrückt wurde. Sobald man aber die Röhre umwendete, so dass der verdickte Boden nach Oben gekehrt war, bewährte sich dieselbe wie jene unter No. 18, zerriss nämlich an der Unterseite.

So wahr und richtig diese Ergebnisse an sich für walzeiserne Constructionen von beschränkten Dimensionen sind, so dürfen dieselben doch nicht als Beweise der äussersten Festigkeit des Walzeisens angesehen werden. Auf Seite 31 ist schon gesagt, dass nach den besten Angaben sich die Cohäsion des Gusseisens zu der des Walzeisens wie 8 : 27 verhalte und dass die rückwirkende Festigkeit beider Eisenformen im gegenseitigen Verhältnisse von 6 : 7 steht. Durch Beibehaltung dieser Verhältnisse und mit Berücksichtigung der anerkannten Thatsache, dass die rückwirkende Festigkeit des Gusseisens das Sechsfache seiner Cohäsion beträgt, ergiebt sich bei Walzeisen, zwischen dem Widerstande gegen Zerdrücken und dessen Cohäsion, das Verhältniss von 56 : 27, d. h. in Worte gefasst: Während 1 Cubikzoll Walzeisen durch eine Kraft

von 27 Tonnen zerrissen wird, weicht dasselbe kaum einem Drucke von 56 Tonnen.

Für die Praxis sind die Resultate obiger Versuche jedoch von hohem Werthe, da dieselben über die Festigkeitsgrenzen hohler walzeiserner, aus Blechen zusammengesetzter Träger oder Joche, aufklären. Bei gusseisernen, völlig massiven Balken mag die äusserste Festigkeit des Materials in Betracht kommen, aber bei solchen, welche aus zusammengenieteten Blechen gebildet werden, ist wohl die Festigkeit, welche durch die Combination des Materials der gesamten Construction verliehen werden kann, eben so wichtig, als die verschiedenen Festigkeiten des Materials selbst. Der Ausdruck „Zerdrückung“ ist bei letzterer Trägerform kaum mehr anwendbar, denn der wirklich hervorgebrachte Zustand ist mehr eine Verunstaltung oder Verkrüppelung als Zerstörung des Gefüges des Materials. Die Festigkeit gegen Zerdrückung oder die rückwirkende Festigkeit gestaltet sich so zu einem Widerstand gegen Biegung, und diese ist bei Blechen natürlich sehr gering. In gleicher Weise ist die Cohäsion in Wirklichkeit grösstentheils auf die Festigkeit und den Halt der Nieten an den Fugenstellen der Bleche zurückgeführt. Das ansehnlich erhöhte Tragvermögen der Röhre im 24. Versuch der letzten Tabelle, ist lediglich der Gestalt der Decke zuzuschreiben. Dieselbe war von aufeinandergelegten, gewellten Blechen hergestellt und zwar so, dass zwei Wellen oder Furchen zusammen eine röhrenförmige Höhlung bildeten. Dieser Versuch führte zunächst auf die Zellenform der Ober- und Unterseite der Röhren. Das Losreissen der Seitenwände von Decke und Boden, lenkte die Aufmerksamkeit darauf, die Röhren in den Ecken sorgfältig zu verstärken. In Folge dieser hier mitgetheilten Versuche schlug nun Fairbairn am Schlusse seines bezüglichlichen Berichts, zur Ueberbrückung der Enge von Menai, die Röhrenform vor, indem er anrieth, eine ungeheuerere Blechröhre von gehöriger Steifigkeit und Festigkeit zu construiren, die ausser ihrem Selbstgewichte noch die gleichmässig über ihre Länge verbreitete Belastung von 2000 Tonnen zu tragen im Stande wäre, d. i. etwa 10 Mal mehr als je auf die Brücke gebracht werden würde.

In nachstehender Tabelle sind die Resultate einiger in den vorhergehenden drei Tabellen enthaltenen Versuche mit cylindrischen, elliptischen und rechteckigen Röhren zusammengestellt, um den Vergleich zwischen den Querschnittsflächen, der relativen Menge Materials in denselben und den brechenden Belastungen zu erleichtern. Die Röhren sind aus den betreffenden Tabellen mit Rücksicht auf ihre gleiche Länge gewählt. Unter dem relativen Metallquerschnitte ist das Product aus dem Umfange des Röhrenquerschnitts mit der durchschnittlichen Blechstärke zu verstehen.

Röhren-Form	Zahl der Röhren	Masse		Querschnitt	Belastung	Zahl der Röhren	Belastung	Belastung
		Werte	Belastung					
Rechteckige Röhren	30	18'32	3'32	102'41	4'14	11	11	Belastung
	10				4'14			
Quadratische Röhren	18	3'0	3'0	33'10	3'22	10	10	Belastung
	11				3'22			
	10				4'14			
	12				3'22			
Elliptische Röhren	11	3'32		114'0	2'08	10	10	Belastung
	10	12'00		108'3	1'01			
Cylindrische Röhren	3	3'32		110'2	1'21	10	10	Belastung
	1	14'03		113'1	1'03			

	Nummer des Versuchs.	Röhren- Durchmesser.		Querschnitts- fläche.	Relativer Metallquer- schnitt.	Brechende Belastung.	Verhältniss der relativen Metallquerschn. zur brechenden Belastung.
		Zoll.					
Cylindr. Röhren.	{ 1	12		112,1	1,02	2704	1 : 265
	{ 2	12,18		116,5	1,57	3040	1 : 194
	{ 10	{ 14,62		106,2	1,61	2100	1 : 130
	{ 11	{ 9,25					
Elliptische Röhren.		{ 15,00		114,9	5,68	15000	1 : 264
		{ 9,75					
		Höhe.	Breite.				
		9,6	9,6	92,16	2,88	3738	1 : 130
Quadrat. Röhren.	{ 15				4,77	8273	1 : 173
	{ 16				3,52	3788	1 : 108
	{ 17				3,52	7148	1 : 203
	{ 18						
Rektangul. Röhren.	{ 19	18,25	9,25	168,81	4,14	6812	1 : 164
	{ 20				4,14	12188	1 : 294

Die Ergebnisse der Fairbairn'schen Versuche hat nun Hodgkinson, für jeden der verschiedenen Röhrenquerschnitte, in folgende Formeln zusammengefasst:

Cylindrische Röhren. Die Tragfähigkeit einer cylindrischen, an beiden Enden unterstützten und in der Mitte belasteten Röhre, ist ausgedrückt durch die Formel:

$$w = \frac{\pi \cdot f}{a \cdot l} \cdot (a^4 - 4a_1^2)$$

worin l die Entfernung zwischen den Auflagen, a a_1 den inneren und äusseren Radius des Querschnitts, w die brechende Belastung, f die Festigkeit, welche ein Quadrat-zoll der gesammten Querschnittsfläche der Röhre bis zum Zerbrechen entwickelt und π die Zahl 3,1415 bedeutet. Aus dieser Formel leitet sich der Werth für f ab zu:

$$f = \frac{w \cdot l \cdot a}{\pi (a^4 - 4a_1^2)}$$

Den Werth des f für einen Quadrat-zoll, erhält man aus jedem der angeführten Experimente, wenn man in vorstehender Formel unter w ausser der brechenden Belastung, noch das Gewicht der Röhre selbst versteht, der Reihe nach, wie folgt:

1) $f = 33426$	5) $f = 30078$	} Durchschnittlich 29887 Pfd. = 13,34 Tonnen.
2) $f = 33456$	6) $f = 33869$	
3) $f = 35462$	7) $f = 22528$	
4) $f = 32415$	8) $f = 25095$	
	9) $f = 22655$	

In allen Fällen trat der Bruch entweder durch Eindrücken der Oberseite oder durch Zerreißen des unteren Theils der Röhren ein, und zwar in Folge einer durchschnittlichen Beanspruchung des Quadrat-zolls Querschnittsfläche mit $13\frac{1}{3}$ Tonnen, oder mit etwas weniger als der Hälfte der äussersten Festigkeit des Materials gegen Dehnung.

Elliptische Röhren. Der Werth der zulässigen Belastung für elliptische Röhren, deren grosse Axe vertical gestellt ist, findet sich nach:

$$w = \frac{f \cdot \pi (ba^3 - 3b_1 \cdot a_1^2)}{l \cdot a}$$

wobei a a_1 die halben grossen Axen und b b_1 die halben kleinen Axen des äusseren und inneren Umfangs der Röhre

bedeuten. Der Werth des f leitet sich wieder aus den Versuchen her, wenn man unter w wieder das brechende Gewicht und das Gewicht der Röhre selbst versteht, und zwar nach:

$$f = \frac{w \cdot l \cdot a}{\pi (b \cdot a^3 - 3b_1 \cdot a_1)},$$

aus Versuch $\left\{ \begin{array}{l} 13) f = 36938 \\ 12) f = 29144 \\ 17) f = 45185 \end{array} \right\}$ Durchschnittlich 37089 Pfd.
 $= 16,55$ Tonnen.

Rechteckige Röhren. Wenn in einer rechteckigen Röhre, die als Träger verwendet wird, die Dicke der Decke und des Bodens gleich, die Seiten dagegen von jeder beliebigen Stärke sind, so hat man

$$w = \frac{2f (b \cdot d^3 - 3b_1 \cdot d_1)}{3 l \cdot d},$$

und für f nach der Formel:

$$f = \frac{3 w \cdot b \cdot d}{2 (b \cdot d^3 - 3b_1 \cdot d_1)},$$

mit Benutzung der Resultate des 15. Versuchs

$$f = 8,25 \text{ Tonnen.}$$

Dies ist jedoch weit unter dem Werthe, der sich nach Dempsey's Versuchen für f als Durchschnittswerth der Festigkeit für den Quadratzoll der Röhren-Querschnittsfläche herausstellt. Ausserdem ist dieses Resultat auch sehr unzuverlässig, namentlich für dünne Bleche, denn diese werden durch sehr viel geringeren Druck zusammengeschoben, als Zug erforderlich ist, dieselben zu zerreißen.

Dempsey berücksichtigte bei seinen Versuchen hauptsächlich zwei Gegenstände:

1) Wie weit der Werth des f durch Aenderung der Metallstärken beeinträchtigt wird;

2) Die Festigkeit von Röhren zu ermitteln, die den schon beobachteten ähnlich, aber in allen Dimensionen, wie in der Länge, Höhe, Breite, und in den Blechstärken verhältnissmässig kleiner waren, damit man im Stande sei von der Festigkeit einer Röhrengrosse auf die einer anderen schliessen zu können.

Dempsey's Versuche mit rechteckigen Röhren.

Länge der Röhren.	Höhe.	Breite.	Entfern- ung zwi- schen den Auflagern.	Gewicht der Röhren.	Blech- stärke.	Letzte beob- achtete Durchbieg- ung.	Entspre- chende Belast- ung.	Brechen- de Be- lastung.	Werth der Bruchfestig- keit = f .
Fuss. Zoll.	Zoll.	Zoll.	Fuss. Zoll.	Ctr. $\frac{1}{4}$ Ctr.	Zoll.	Zoll.	Tonnen.	Tonnen.	Tonnen.
31 6	24	16	30 —	44 3	0,525	3,03	56,3	57,5	19,17
31 6	24	16	30 —	24 1	0,272	1,53	20,3	22,75	14,47
31 6	24	16	30 —	10 1	0,124	1,20	5,04	5,53	7,47
8 2	6	4	7 6	78 13	0,132	0,66	9416	9976	23,17
8 2	6	4	7 6	38 11	0,065	0,32	2696	3156	15,31
4 $2\frac{1}{8}$	3	2	3 9	10 12	0,061	0,435	2464	2464	24,56
4 $3\frac{1}{4}$	3	2	3 9	4 15	0,030	0,130	560	672	13,42

In den brechenden Belastungen sind die Gewichte der Röhren selbst, nicht inbegriffen.

Ein noch wenig erforschter Gegenstand ist das gegenseitige Verhältniss der Masse des Materials in der Decke und im Boden der Röhren.

Vergleicht man in vorstehender Tabelle die brechenden Gewichte der nur in ihren Blechstärken verschiedenen Röhren, so findet man eine beträchtliche Abnahme an Tragvermögen bei den dünneren; denn die Werthe für f geben als Widerstand per Quadratzoll Querschnittsfläche 19,17; 14,47 und 7,34 Tonnen.

Gewöhnlich ist der Coefficient f bei Erörterung der Festigkeit verschiedener Körper constant, aber nach vorhergehenden Beispielen scheint er bei Röhren verschieden zu sein. Er drückt hier den Widerstand gegen Verunstaltung aus und verändert sich mit der Stärke des Materials der Röhre, falls deren Höhe constant ist, oder mit dem Quotienten aus der Stärke dividirt durch die Höhe, wenn diese verschieden ist.

Die ungenaue Kenntniss des Werthes f , die man nur durch Versuche genau erlangen kann, bildet das Haupthinderniss für die Aufstellung einer Formel, welche die Tragfähigkeit einer Röhre jeder Form ausdrückt.

In vorstehenden Versuchen ist von der Verminderung des Querschnitts, welche durch die Nietlöcher herbeigeführt wird, der leichten Uebersicht wegen, abgesehen worden. Die Röhre für den zweiten Versuch versagte an der oberen Seite bei einer Belastung von 22,75 Tonnen. Nachdem die Röhre wieder gerade gerichtet und deren gelähmte Decke durch eine stärkere ersetzt worden, so dass dadurch an den durch die Nieten geschwächten Stellen etwas mehr Material vorhanden war, trug die Röhre statt 22,75 Tonnen, jetzt 32,53 Tonnen und Boden und Decke gaben zugleich nach.

Wegen der genaueren Details und weitläufigeren Mittheilungen über diesen Gegenstand, ist auf das ausgezeichnete Werk Fairbairn's, über die Conway- und Britannia-Brücke, zu verweisen.

7. Abschnitt.

Beschreibung der Britannia-Brücke — Das Mauerwerk des Britanniapfeilers, die Anglesea- und Caernarvon-Pfeiler und Widerlager — Einrichtung für die Herstellung der Röhren — Die Haupt- und Landröhren, Beschreibung ihrer Construction — Gerüste und Arbeitsbühnen — Vorkehrungen die Röhren überzuschiffen — Die Pontons — Das Aufziehen der Hauptröhren — Die hydraulischen Pressen — Die Verbindung der Röhren in den Pfeilern — Die Conway-Brücke.

Nachdem im vorigen Abschnitte eine Uebersicht der Voruntersuchungen an walzeisernen Röhren gegeben worden, folgt nun in diesem eine Beschreibung der über den Conway-Fluss und über die Enge von Menai errichteten Bauwerke, um die treffliche Art und Weise zu zeigen, nach welcher das Material darin angeordnet ist, damit für Brücken von so bedeutender Ausdehnung, die Festigkeit und Steifigkeit erreicht werde, welche erforderlich ist, um das ansehnliche Gewicht und Moment von Dampfwagenzügen ertragen zu können.

Von diesen Brücken ist die Conway-Brücke die zuerst erbaute. Sie bietet allein schon ein in Plan und Ausführung völlig gelungenes Beispiel einer eisernen Röhrenbrücke dar. Da aber die Britannia-Brücke jene in den Dimensionen bei Weitem übertrifft, und sowohl ähnliche, als auch andere Constructionen, die in der Conway-Brücke nicht vorkommen, in einem ausgedehnten Maassstabe enthält, so scheint es angemessen, jenem Werke zunächst genaue Aufmerksamkeit zuzuwenden und dann die Unterschiede zwischen ihm und dem kleineren Bauwerke hervorzuheben.

Die dem Britannia-Felsen gegenüber gelegenen Ufer der Enge von Menai, an der Stelle also, welche Stephenson für den Uebergang wählte, sind von einander in ihrem Character und Profil etwas verschieden. An der Caernarvon-Seite erhebt sich das Ufer an der Wasserlinie plötzlich und steigt unter einer mässigen Böschung weiter an, so dass eine horizontale Linie, welche man sich in der Höhe von 100 Fuss über dem Wasserspiegel gezogen und etwa 400 Fuss von der Was-

serlinie an landeinwärts verlängert denkt, am Ende nur noch wenige Fuss über dem natürlichen Terrain liegt. Auf der Anglesea-Seite erstreckt sich der felsige Boden auf eine beträchtliche Weite, und zieht sich in einer Entfernung von etwa 250 Fuss von der Wasserlinie, noch 80 bis 90 Fuss unter jener Horizontalen hin. Die Folge hiervon ist, dass der Damm, welcher die Eisenbahn von dem Anglesea-Ende der Brücke fortsetzt, weit höher und länger als auf der Caernarvon-Seite nöthig war, werden musste.

Der Britannia-Felsen, welcher vom Grunde der Enge aus, und beinahe in deren Mitte aufsteigt, ist bei Hochwasser 10 Fuss hoch überfluthet und ragt zur Zeit der Ebbe etwa 10 Fuss über den Wasserspiegel. Gewöhnlich verursacht die Fluth einen Unterschied in der Höhe des Wasserstandes von 20 Fuss. Auf diesem Felsen ist ein schlanker Pfeiler von Mauerwerk errichtet und in lichten Abständen von 460 Fuss zu beiden Seiten von ihm, an der Wassergrenze, sind zwei andere Pfeiler aufgebaut. In der Entfernung von 230 Fuss von jedem dieser Pfeiler ist ein ebenfalls steinerner Landpfeiler von 176 Fuss Länge aufgeführt. Das sämmtliche Mauerwerk dieses Gebäudes ist also enthalten in:

dem	dem	dem	dem	dem
Anglesea-	Anglesea-	Britannia-	Caernarvon-	Caernarvon-
Landpfeiler,	Pfeiler,	Pfeiler,	Pfeiler,	Landpfeiler.

Die Seiten dieser fünf staunenerregenden Mauerwerksmassen haben einen sehr steilen Anlauf, wodurch die Grösse der obern Theile verjüngt, grössere Stabilität der Masse und gleichzeitig ein gefälligeres Ansehen erzielt wird. Die hauptsächlichsten Dimensionen dieser Pfeiler sind nun folgende.

Britannia-Pfeiler. Derselbe ist an der Basis 62 Fuss lang, 52 Fuss 5 Zoll breit und in der Höhe von 102 Fuss über Hochwasser, in welcher die Röhren durch ihn hindurch gehen, vermöge des Anlaufs auf 55 Fuss und 45 Fuss 5 Zoll reducirt. Um den Fuss dieses und der übrigen Pfeiler zieht sich ein Sims herum. Die Höhe dieses Pfeilers über dem Hochwasserspiegel beträgt 200 Fuss, oder über der Grundfläche auf dem Felsen, beinahe 230 Fuss.

Der für die äusseren Theile dieses und der anderen Pfeiler verwendete Stein ist ein harter und dauerhafter, unter dem Namen Anglesea-Marmor bekannter, Kalkstein, welcher bei Penmaen, nahe an der nordöstlichen Küste der Insel, in grossen Blöcken, bis zu 10 und 14 Tonnen Gewicht, gebrochen wird. Das Innere sämtlicher Mauerkörper ist aus Sandstein, der bei Runcorn in Cheshire gewonnen wird, sich leicht bearbeiten lässt und für Füllmauerwerk hinlängliche Dauer besitzt. Das Volumen des Britannia-Pfeilers, wäre er massiv, würde über 575000 Cubicfuss betragen; allein es sind hohle Räume oder Kammern in demselben angelegt, und deshalb in Wirklichkeit nur 148625 Cubicfuss Kalkstein und 144625 Cubicfuss Sandstein erforderlich gewesen. Das Gesamtgewicht dieses Pfeilers beläuft sich circa auf 20000 Tonnen an Mauerwerk und beinahe 387 Tonnen an Gusseisen, welches als Balken und Joche verwendet ist. Die beiden Abbildungen in Fig. 19 geben eine Idee von den allgemeinen Verhältnissen und dem Aussehen dieses Pfeilers. Die erstere giebt eine Ansicht in Richtung der Eisenbahn, und zeigt die Oeffnungen für die beiden Röhren, während die andere die Frontansicht des Pfeilers mit einem Theile der durch ihn hindurchgehenden Röhren vorstellt.

Während der Ebbe-Zeiten wurde die Gründung hergestellt, und das Mauerwerk bis zum Niveau der Fluth aufgeführt. Man ersparte auf diese Weise einen Fangedamm, aber es vergingen dafür einige Monate ehe die erste Schicht Mauerung fertig wurde. Das Gerüste, dessen man sich beim Baue dieses, sowie der übrigen Pfeiler bediente, war aus unbehauenen, mittels eiserner Bänder und Bolzen verbundenen Hölzern hergestellt. Die senkrechten Säulen desselben waren durch diagonale Balken verschwerdtert und verstrebt. Oben auf die Säulen waren unter sich parallele Balken horizontal befestigt, welche Schienen zur Unterlage dienten, auf denen fahrbare Winden in zwei einander winkelrechten Richtungen bewegt werden konnten. Mit Hülfe dieser Vorrichtungen wurden die Steine sogleich aus den Schiffen bis in die betreffenden Höhen emporgehoben und daselbst genau an die ihnen bestimmten Stellen verlegt. An den Aussenseiten des Mauerwerks ist den einzelnen Steinen

ihre rauhe oder Bruch-Fläche gelassen, ausgenommen an den Kanten, den zurückspringenden Theilen und der Bekrönung der Pfeiler. Erstere sind winkelrecht beschlagen, letztere mit glatten Flächen bearbeitet.

Anglesea- und Caernarvon-Pfeiler. Diese haben an der Basis dieselben Dimensionen, wie der vorstehende Britannia-Pfeiler, nämlich 62 Fuss Länge und 52 Fuss 5 Zoll Breite, sind aber durch den Anlauf ihrer Seiten in der Höhe des Röhren-Bodens bis auf 55 Fuss und 32 Fuss verjüngt. Ihre Totalhöhe über dem Niveau der Fluth beträgt nur 190 Fuss, also 10 Fuss weniger als beim Britannia-Pfeiler. In architectonischer Beziehung und der äusseren Erscheinung gleichen diese beiden Pfeiler dem erstbeschriebenen völlig. Jeder derselben enthält in der Gestalt von Balken, Trägern und Jochen an 210 Tonnen Gusseisen.

Die Landpfeiler auf der Caernarvon- und Anglesea-Seite. Diese sind ähnlich wie die Pfeiler abgeböscht, haben 176 Fuss Länge und in winkelrechter Richtung zu Eisenbahn, die nämlichen Dimensionen wie jene. Der erhöhte Theil dieser Endpfeiler, in welchem die Röhren aufliegen, bildet ein den Pfeilern ähnlich überbautes Einfahrtsthor in die Röhren. Innerlich bestehen diese Landpfeiler in quer verbundenen Längsmauern, mit zwischen sie gespannten Ziegelgewölben. Die Verlängerungsmauern dieser Pfeiler sind jede mit einer hohen steinernen Brustwehr versehen, welche am Ende in ein grosses Piedestal übergeht, auf dem ein liegender Egyptischer Löwe von collossaler Grösse, und mit dem Gesicht gegen den herankommenden Beschauer gewendet, ruht. Diese Löwen scheinen den Eingang zu dem hinter ihnen liegenden eisernen Wunderwerk zu bewachen. Jeder derselben ist aus elf Blöcken Kalkstein zusammengesetzt und misst 25 Fuss in der Länge, 12 Fuss in der Höhe und wiegt gegen 30 Tonnen. „Ruhe und Würde“ sind kunstvoll in ihnen ausgedrückt. Die vier Zwischenräume zwischen dem Britannia- und den beiden Nachbarpfeilern, sowie zwischen diesen und den Endpfeilern der Brücke sind, wie schon erwähnt, verschieden, nämlich 460 Fuss und 230 Fuss. Da nun jede Röhre nur ein Schienengleiss enthalten kann, so waren zur Ueberbrückung der vier Oeffnungen acht eiserne Röhren nöthig, — vier, jede von

460 Fuss und vier, jede von 230 Fuss Länge. Die vier längeren liegen über dem Wasser, die kürzeren über dem Lande. Für letztere errichtete man Gerüste und erbaute sie sogleich in der ihnen schliesslich bestimmten Lage. Die vier Hauptröhren aber wurden am Lande auf gezimmerten Plattformen (Bühnen) hergestellt, und mittels flachbodiger Kähne oder Pontons zwischen die Pfeiler geflösst, daselbst niedergelegt und nach und nach bis zu der bestimmten Höhe von 102 Fuss über Hochwasser, mit Hülfe hydraulischer Pressen gehoben. Durch diese Vorkehrung wurde jede Rüstung über die Enge vermieden und die Sperrung der jedesmaligen Hälfte des Canals nur auf die kurze Zeit beschränkt, welche für das Aufziehen der Röhren nöthig war.

Gerüst für den Bau der kleineren Röhren. Dieses war aus runden Stämmen hergestellt, welche mittels der Länge nach getrennter Hölzer gegenseitig verstrebt waren. Figuren 20 und 21 zeigen die Art der Einrichtung des Gerüsts auf der Anglesea-Seite, wo das flache Ufer eine bei Weitem höhere Rüstung bedingte als auf der Caernarvon-Seite ausreichend war. Je nach den Unebenheiten der felsigen Oberfläche des Ufers, sind zunächst längere oder kürzere Pfähle in den Boden befestigt und auf sie horizontale Schwellen in winkelrechter Richtung zur Länge der Brücke gelegt. Ueber diesen Schwellen ist eine zweite waagrechte Reihe von Unterlagshölzern auf untergelegte Keile angeordnet, durch die das Niveau der oberen Balkenlagen, sollte ein Setzen des Gerüsts aus irgend einer Ursache eintreten, gehörig justirt werden kann. Diese untersten Schwellen waren alle so stark als man sie nur erlangen konnte, nämlich an den Köpfen $16/18$ Zoll. Auf ihnen sind die Gerüstsäulen in solchen Abständen von einander errichtet, dass jeder Theil des ganzen Gerüsts möglichst gleichmässig beiträgt, das ungeheuere Gewicht der Röhren während ihres Baues zu unterstützen. Dieses Gewicht beträgt über 1300 Tonnen. Da die beiden Röhren bei der Breite einer jeden von 15 Fuss, und der Länge von 230 Fuss, eine Fläche von 6900 Quadratfuss bedeckten, so war ein Quadratfuss der Plattform des Gerüsts, das Gewicht der Arbeiter, Werkzeuge etc. nicht berücksichtigt, mit mehr als $3\frac{3}{4}$ Centner belastet. Die verticalen

Säulen sind etagenweise durch horizontale Balken von $12/15$ Zoll Stärke verbunden und ausser des diagonalen Längen- und Querverbands, auch noch durch seitwärts angesetzte Streben in ihrer Stellung gesichert. Die oberen Enden der Säulen sind der Quere und Länge nach verholmt. Auf den Längsholmen liegen nochmals Querbalken, auf denen eine ununterbrochene Dielung von starken Pfosten hergestellt ist. Die Bodenbleche der Röhren wurden auf einer Lage sorgfältig angeordneter Querschwellen ausgebreitet, aneinander genietet und sodann die Röhren weiter gebaut.

Werkplatz und Bühnen für die Herstellung der Hauptröhren. Der von der Brücke aus südlich gelegene Rand des Caernarvon-Ufers wurde für die Herstellung der vier Hauptröhren gewählt, von denen jede 472 Fuss lang ist, also an jedem Ende 6 Fuss Länge mehr hat als ihre lichte Tragweite beträgt. Damit der Bau der vier Röhren gleichzeitig betrieben werden konnte, waren hart am Ufer, in einer geraden Linie, vier stämmige Bühnen auf Pfähle erbaut. Der Arbeitsplatz breitete sich landeinwärts aus und war neben den Werkstätten noch mit Dampfmaschinen, Speichern für Tauwerk etc., besetzt. In den Werkstätten waren Maschinen zum Lochen und Schneiden der Bleche, und zum Vorrichten der verschiedenen Theile der Röhren aufgestellt, sowie die Arbeiter mit Schraubstöcken, Drehbänken und allerhand nöthigen Werkzeugen versehen. Ein naheliegender Platz war von Geschäftslocalen und Werkstätten eingenommen und an einem höher gelegenen Theile des Ufers waren hölzerne Wohnungen für etwa 500 Arbeiter errichtet.

Figur 22 giebt eine Vorstellung von der Einrichtung des Unterbaues der Bühne für jede der grossen Röhren. Derselbe besteht aus gegenseitig verbundenen und verstreuten Säulen, die oben wiederum verholmt und mit starken Pfosten abgedielt sind. An den Enden der Röhren ist ein Pfeiler aufgemauert, welcher jeder der auf ihm zusammenstossenden Röhren eine Auflage von 6 Fuss Breite gewährt. Nach Vollendung jeder Röhre wurde der Unterbau derselben entfernt, und sie allein von den Endpfeilern getragen, wobei man die durch das Eigengewicht der Röhre verursachte Durchbiegung sogleich wahrnehmen und ihre etwaige Aenderung täglich beobachten konnte.

Parallel mit jeder Röhre, und ihren Seitenwänden nahe, waren zwei Schienenstränge gelegt, auf denen ein Fahrgerüst durch eine Winde an jeder Seite fortbewegt werden konnte. Dies Gerüst war hinreichend hoch und weit, um die Röhre zu umfassen und ausserdem so eingerichtet, dass damit die Eisenplatten und das übrige Material an jeden Punkt der Röhre gehoben werden konnte. Aehnliche Fahrgerüste waren ebenfalls bei dem Bau der Landröhren in Anwendung. Transportable Heerde folgten den Arbeitern beim Nieten in dem Maasse als sie mit ihrer Arbeit vorwärts rückten.

Die Röhren, — ihre Dimensionen und Einrichtung. Die vier getrennten Röhren, welche jedem Schienengleise den Uebergang über die Meerenge gestatten sollten, wurden an die ihnen bestimmten Lagen gebracht, und zu einer einzigen Röhre mit einander verbunden, so dass die acht einzelnen Röhren nur als zwei einander parallel laufende erscheinen, von denen jede 1513 Fuss oder beinahe $2\frac{2}{7}$ Mile lang ist.

Zum dem Zwecke dieser Vereinigung wurden für die Breiten der Pfeiler kurze Röhrenstücke gebaut, und an die grossen Röhren im Ganzen angereiht. Die Röhrenstücke auf dem Anglesea- und Caernarvon-Pfeiler wurden auf den Gerüsten für die beiderseitigen Landröhren, und vor den Durchgangs-Oeffnungen in den Pfeilern, construiert. Sobald ein Hauptröhre an ihrer Stelle in der Höhe angelangt war, wurde das betreffende kurze Röhrenstück in den Pfeiler geschoben, an die grosse Röhre angestossen und angemessen mit ihr verbunden. Die durch diese Operation entstandene Lücke zwischen dem Pfeiler und dem auf seinem Gerüste liegen gebliebenen Theile jeder Landröhre wurde wieder ausgefüllt, indem man dieselbe vollends bis an den Pfeiler heran baute und daselbst mit der noch aus dem Pfeiler hervorstehenden Röhre vereinigte.

Um die Längenänderung dieser ungeheuer langen Eisenconstruction in Folge des Temperaturwechsels nicht zu behindern, liegt jede der beiden Röhren in ihrer Mitte, d. i. also auf dem Britannia-Pfeiler, unbeweglich fest auf, kann sich aber in ihrer ganzen Länge völlig frei ausdehnen und zusammenziehen, da sie sowohl in dem Anglesea- und

Caernarvon-Pfeiler, als auch in den beiden Endpfeilern auf gusseisernen Rollen liegt. Bei dem alltäglichen Wechsel des Thermometerstandes beträgt der Längenunterschied der ganzen Röhre ungefähr 12 Zoll, also für jede Hälfte links und rechts vom Britanniapfeiler circa 6 Zoll.

Die Querschnittsform der Röhren ist durchaus rechteckig, ihre Seitenwände sind von einem Ende zum anderen völlig parallel, ihre Höhe aber verändert sich. In der Mitte des Britannia-Pfeilers haben die Röhren äusserlich die Höhe von 30 Fuss, verjüngen sich aber an den Enden bis auf 22 Fuss 9 Zoll; der Boden läuft horizontal, die Decke hingegen erhebt sich gegen die Mitte der Brücke um 7 Fuss 3 Zoll. Die lichte Höhe der Röhren ist durch die Art ihrer Construction in der Mitte auf 26 Fuss und an den Enden auf 18 Fuss 9 Zoll reducirt. Die äussere Breite misst 14 Fuss 8 Zoll, die lichte Weite der Röhren aber nur 13 Fuss 5 Zoll.

Figur 23 stellt einen Querschnitt der Röhren und deren Einrichtung im Allgemeinen dar. Die Decke und der Boden sind durch Zellen, welche durch die ganze Länge der Röhren neben einander fortlaufen, verstärkt, und zwar die Decke durch acht, der Boden durch sechs. Die grössere Zahl der Zellen und die entsprechend vermehrte Metallmasse an der Oberseite der Röhren, erhöht deren Steifigkeit oder Festigkeit, gegen ein Einknicken oder Einbiegen, welches Versuchen gemäss, eine Belastung der Röhren hervorzubringen strebt.

Die Blechtafeln sind von verschiedenen Dimensionen und Stärken. Die, welche die Seitenwände bilden, werden von den Enden nach der Mitte der Röhre zu schwächer, die in die Decke und den Boden verwendeten, nehmen in derselben Richtung, nach einer genau gearbeiteten Scala, an Stärke zu*). Die Wandbleche sind abwechselnd 6 Fuss 6 Zoll und 8 Fuss 8 Zoll lang, aber alle 2 Fuss breit. Sie sind vertical angeordnet, geben also aller 2 Fuss eine senkrechte Fuge. In der Mitte der Röhrenlänge sind sie $\frac{1}{2}$ Zoll, an den Enden hingegen $\frac{5}{8}$ Zoll dick. Die

*) Wegen genauer Auskunft über diese Scala ist auf das Werk Fairbairn's „Conway- und Britannia-Tubular Bridges;“ Weale 1849, London, zu verweisen.

Deckenbleche sind sämmtlich 6 Fuss lang, 1 Fuss 9 Zoll breit und werden von $\frac{5}{8}$ Zoll an den Enden, bis auf $\frac{3}{4}$ Zoll in der Mitte der Röhre, stärker. Die Bodenplatten haben weit grössere Dimensionen, nämlich 12 Fuss Länge und 2 Fuss 4 Zoll Breite; sie liegen doppelt. Die Bleche jeder Lage sind an den Röhrenenden $\frac{7}{16}$ Zoll stark und $\frac{9}{16}$ Zoll in der Mitte der Röhren. Die Verschiedenheit in der Breite der Decken- und Bodenbleche wurde durch die verschiedene Anzahl Zellen an der Ober- und Unterseite der Röhren bedingt, welcher zu Folge jede der acht oberen Zellen 1 Fuss 9 Zoll und jede der sechs unteren, 2 Fuss 4 Zoll breit ist. Sämmtliche Fugen sind Stossfugen, d. h. die Blechtafeln stossen nur zusammen und übergreifen einander nicht. Dieselben sind auf beiden Seiten der Platten mit Stoss- oder Deckblechen bedeckt.

Figur 24 zeigt ein Stück Röhrenwand, die Anordnung der Blechtafeln in derselben, nebst den Stossblechen über den horizontalen und den **T** förmigen Rippen auf den verticalen Fugen; auch sind die Stossbleche auf den verticalen Fugen der Zellenwände an der Decke und dem Boden der Röhren angegeben. Fig. 25 erklärt die Disposition der Bleche in der Röhrendecke.

Die Enden der **T**-Rippen auf den Innenwänden der Röhre sind winkelrecht umgebogen und erstrecken sich noch etwa 2 Fuss lang über die Decke und den Boden. An den durch die Pfeiler hindurch gehenden Theilen jeder Röhre sind an ihrer Aussenseite statt der **T**-Rippen Flachschienen über die verticalen Fugen genietet.

In den Hauptröhren haben die senkrechten Fugen der Seitenwände, bis in eine Entfernung von 60 Fuss zu beiden Seiten der Pfeiler, dadurch eine Verstärkung erhalten, dass zwischen sie und winkelrecht zu den Blechtafeln, starke, 9 Zoll breite Platten geschoben und mit letzteren durch vier Winkelschienen verbunden sind. Bei jeder sechsten Rippe, oder aller 12 Fuss, der ganzen zusammengesetzten Röhre entlang, geht quer über den Boden im Inneren der Röhren ein Blechstreifen, welcher in den Ecken mit Hülfe von dreieckigen, oder Zwickelblechen an die Seitenwandrippen befestigt ist.

Die Figuren 26 bis 30 erläutern die Einrichtung der verschiedenen Fugenverbindungen. Figur 26 giebt den Querschnitt der **T** und **L**-Schienen an. Erstere sind über die Arme des **T** gemessen, 5 Zoll breit, ihr Hals ist $3\frac{1}{2}$ Zoll hoch; die Schenkel der letzteren sind beide $3\frac{1}{2}$ Zoll lang.

Figur 27 zeigt die Art der Vereinigung der Wandbleche in den Pfeilern; *ss* sind die Wandbleche der Röhren, *p* die Deckschiene auf der Aussenseite und *t* die **T**-Eisen-Rippe an der Innenseite der Röhren.

Figur 28 versinnlicht die gewöhnliche Verbindung der Wandbleche *ss*, *OR* bedeutet die Rippe auf der äusseren und *IR* die auf der inneren Wandfläche der Röhren.

Figur 29 stellt den Querschnitt der verstärkten Verticalfugen an jedem Ende der Hauptröhren dar; *ss* sind die Seitenwandbleche, *rr* die zwischen ihre Stossfuge geschobene, 9 Zoll breite Platte und *LL* die vier, beide verbindenden Winkelschienen. *LRL* ist nach Aussen gekehrt.

Figur 30 enthält die Befestigung des aller 12 Fuss quer über den Röhrenboden gezogenen Blechstreifens *b* an die Seitenwandrippen mit Hülfe der Zwickelbleche *aa*; *ss* bedeuten wieder die Wandbleche der Röhren.

Figur 31 ist eine perspectivische Skizze, des in Fig. 28 erklärten Fugenverbandes. Dieselbe zeigt zugleich die Art, wie die Stossfugen der **T**-Rippen durch Stücke **L**-Schienen überdeckt sind.

Die Zellenwände sind nur mittels **L**-Schienen in den Ecken verbunden, von denen die in den Deckenzellen verwendeten 45 Pfund, die in den Bodenzellen aber nur 27 Pfund, für je drei laufende Fuss, wiegen.

Die Eisenbahn-Schienen liegen auf Langschwellen, welche an den quer über den Boden der Röhren gezogenen Rippen eine Auflage finden, wie aus Fig. 23 ersichtlich ist.

Nieten. — Dieselben sind genau 1 Zoll stark und reihenweise an den Verticalfugen in Abständen von 3 Zoll, an den Horizontalfugen in Abständen von 4 Zoll von Mitte zu Mitte, angeordnet. Sie wurden in transportablen Oefen erhitzt und mit schweren Hämmern vernietet. In der ganzen Brücke sollen an 2000000 Nieten enthalten sein. Zum Lochen der Bleche und Schienen war von Roberts & Co.

in Manchester, eine Maschine nach dem Princip der Jacquard-Webstühle gebaut worden, von der eine genaue Beschreibung nebst Zeichnungen im „Civil-Engineer- and Architect's-Journal“ von 1848, gegeben ist.

Rollengestelle und Unterlagen der Röhren. Wo die Röhren durch die Pfeiler gehen, ruhen sie, wie schon erwähnt, auf Rollen. Diese Rollen mit den Gestellen, in welchen sie sich bewegen, und die gusseisernen Platten zwischen denen sie liegen, sind in Fig. 32 u. 33 mitgetheilt. Unter jeder Röhre liegen auf jedem Pfeiler zwei solcher Rollengestelle. Ein solches enthält in zwei Reihen 22 Stück abgedrehte, 6 Zoll starke, gusseiserne Rollen. Der dieselben umschliessende Rahmen ist von Schmiedeeisen. In Figur 33 sieht man die gusseisernen Platten mit dem dazwischen liegenden Rollengestelle. Die unterste dieser Platten liegt auf einer Holzbettung, und auf die obere kommt die Röhre zu liegen. Unter den Enden jeder der vier Hauptröhren, also bei ihrem Eintritt in die Pfeiler, liegen ferner, gewissermassen als Kämpfer, drei gusseiserne Balken. Jeder von ihnen ist 24 Fuss lang, 2 Fuss hoch, und wiegt 11 Tonnen. Fig. 34 zeigt den Querschnitt einer Lage dieser Balken, nebst den eisernen, selbige umschliessenden und mit eingemauerten Kasten. Während des Aufziehens der Röhren waren diese Balken seitwärts aus den Pfeilern herausgezogen und lagen auf einem Gerüst, wie aus der perspectivischen Ansicht unter Fig. 37 zu ersehen ist; sobald die Röhre ihre Höhe erreicht hatte, wurden sie wieder in die Pfeiler hinein, an ihre permanente Lage, unter die Röhre geschoben. Sie liegen auch auf Rollen.

Gusseiserne Armirung der Röhren. — Soweit als die Röhren über die Pfeiler laufen, sind selbige inwendig durch gusseiserne Rahmen, von denen auch noch drei zu beiden Seiten jedes Pfeilers in die Röhren zur Befestigung der Aufzugsketten eingebaut sind, verstärkt. Diese Rahmen sind jedesmal zwischen zwei der T förmigen Seitenwand-Rippen angebracht. Figuren 38 u. 39 geben deren Erklärung.

Gewicht der Röhren. — Das Gewicht jeder der Hauptröhren beträgt 1600 Tonnen, ohne das der soeben erwähnten gusseisernen Armirungen von 150 Tonnen. Von diesen 1600 Tonnen Walzeisen vertheilen sich etwa 500 in der

Decke, eben so viel im Boden und 600 in den Seitenwänden der Röhren. Das Gewicht jeder der kleineren Röhren beläuft sich auf 660 Tonnen; so dass das Gesamtgewicht jeder der zwei 1513 Fuss langen, zusammengesetzten Röhren der Brücke, ungefähr 9640 Tonnen gleichkommt.

Ueberschiffen der Hauptröhren. Pontons u. s. w. Das Fortschaffen der Röhren von ihrer Baustelle bis an den Fuss der Pfeiler, bedurfte weittläufiger Vorbereitungen.

Sobald eine Röhre fertig war, wurde sie, wie schon erwähnt, von ihrem Unterbau befreit und lag dann auf die Weite von 460 Fuss ganz frei. Um nun die Ueberfahrt derselben zu bewerkstelligen, war für acht Pontons gesorgt, worunter sechs hölzerne, die schon für denselben Zweck bei der Conway-Brücke gedient hatten, und nur die übrigen zwei von Eisen, waren. Sie hatten flache Boden, erweiterten sich nach Oben und waren im Uebrigen ganz nach Art der eiserne Schiffe gebaut. Jeder derselben mass 98 Fuss in der Länge, 25 Fuss in der Breite und 11 Fuss in der Höhe, war auf 400 Tonnen Tragfähigkeit berechnet und ging bei seiner Verwendung 5 Fuss tief im Wasser. Im Boden dieser Pontons waren grosse Ventile oder Klappen angebracht, zu denen das Wasser eingelassen und dadurch beim Steigen der Fluth das Schwimmen der ersteren verhindert werden konnte.

Die erste Operation die Röhre flott zu machen, bestand darin, bei niedrigem Wasserstand, also während der Ebbe, die Pontons unter die Röhren zu fahren, daselbst zu vertheilen und die Bodenklappen derselben gehörig zu schliessen. Mit der nächsten Fluth schwammen die Pontons und hoben die Röhre von ihren Unterlagern auf. Das Bugsiren und Steuern des schwimmenden Baues von 472 Fuss Länge und 98 Fuss grösster Breite, der eine drei Mal grössere Fläche bedeckte als das angestaunte Seeschiff „Great Britain“, umfasste die zweite Operation. Es war berechnet worden, dass man zum Bugsiren der schwimmenden Röhren bis in die Mitte des Canals ein und einehalbe Stunde Zeit bedürfe, daher wurde die Abfahrt vom Ufer um eben so viel vor Eintritt des höchsten Wasserstandes angeordnet. An dem den Werkplatze gegenübergelegenen, also dem Anglesea-Ufer, waren mächtige Erdwinden aufgestellt, von welchen jede durch 50 Mann gedreht wurde und das Aufholen eines

Taues bewirkte. Ausser den Bugsirtauen folgte der schwimmende Coloss noch verschiedenen Leitseilen.

Nachdem die Röhre noch bei Hochwasser am Fusse der Pfeiler angekommen, war das nächste Manöver dieselbe auf den vorspringenden Sims der Pfeiler niederzulegen. Die Figuren 35 und 36 verdeutlichen diesen Vorgang. Fig. 35 stellt den Fuss des Anglesea- und Britannia-Pfeilers *A* und *B* vor, *T* die von acht Pontons getragene Röhre, eben im Begriff auf die Pfeilerfüsse niedergelegt zu werden. Am Pfeiler *B* ist durch punktirte Linien angedeutet, wie weit die Röhre in die ihr entsprechende Nuth des Pfeilers eingreift, und wie am Pfeiler *A*, ein Theil des die Seiten dieses Pfeilereinsprunges bildenden Mauerwerks ausgelassen worden, um die Röhre einschwenken zu können. Figur 36 zeigt die Operation des Einschwenkens zwischen die Pfeiler *A* und *B* im Grundrisse, sowie die Gestalt der Pfeilerquerschnitte. Die noch auf den Pontons liegende Röhre *T* ist mit dem einen Ende in die Nuth des Pfeilers eingesetzt und nähert sich mit dem anderen der punktirten Lage. In dieser angelangt, wurde durch Oeffnen der Klappen in den Boden der Pontons, deren allmäliges Niedersinken und das Absetzen der Röhren auf die Pfeilerfüsse bewirkt, welche letztere vorher mit Holz belegt worden waren. Fig. 37 ist eine perspectivische Skizze des unteren Theiles des Anglesea-Pfeilers, nachdem die eine Röhre schon in ihre permanente Lage gehoben worden, während die zweite sich aber noch unterwegs befindet.

Aufziehen der Röhren mittels hydraulischer Pressen. — Wenn der Entwurf dieser sonderbaren Brücke in einem Punkte kühn und genial genannt werden kann, so verdient er es gewiss in Bezug auf die Idee, die Last von 1800 Tonnen auf eine Höhe von circa 100 Fuss mittels hydraulischer oder Bremah'scher Wasser-Pressen aufzuziehen.

Die Wirkung dieser Maschinen beruht auf dem Grundsatz, dass der Druck, welcher auf einen Theil der Oberfläche einer eingeschlossenen Flüssigkeit ausgeübt wird, sich durch die Flüssigkeit fortpflanzt und sich unvermindert auf die ganze, das Wasser umschliessende Oberfläche überträgt.

Hydraulische Pressen bestehen im Allgemeinen in zwei wesentlich von einander verschiedenen Theilen, nämlich dem Presscylinder, in welchem der verstärkte Druck wirkt und dem Pumpapparate, durch den das Wasser in den Presscylinder gedrückt wird. Beide Theile sind nur durch ein Druckrohr, durch welches das Wasser aus dem einen in den anderen geht, verbunden. Der Presscylinder, in den das Wasser getrieben wird, ist an einem Ende verschlossen und am anderen offen, um einen der Oeffnung entsprechend cylindrisch abgedrehten Kolben aufzunehmen. Einige Zoll von der Oeffnung nach Einwärts verweitet sich der Cylinder etwas, so dass ein ringförmiger Raum zwischen ihm und dem Kolben verbleibt, in welchem das Wasser in den Cylinder eintritt. Die Pumpe ist eine gewöhnliche Druckpumpe und ist, je nach den verschiedenen Verwendungen der hydraulischen Presse, in Form und Dimension verschieden. Den Druck, welchen eine Pumpe im Presscylinder verursacht, findet man aus dem Verhältnisse der Querschnittsflächen des Pumpen- und des Press-Kolbens, und nach dem Hebelverhältnisse des Pumpenschwengels. Es habe z. B. der Pumpenkolben $\frac{3}{4}$ Zoll, der Kolben im Presscylinder 10 Zoll Durchmesser und das Hebelverhältniss des Schwengels sei 1 : 6; dann beträgt das Druckverhältniss in der Speisepumpe und der Presse:

$$\begin{array}{l} 0,75^2 \cdot 1 : 10^2 \cdot 6 = 0,5625 : 600, \text{ oder} \\ 1 : 1066,66; \end{array}$$

Hiernach wirken 20 Pfund am Ende des Pumpenschwengels auf dem Kolben der Presse mit einem Drucke von 21333,33 Pfunden, oder mit circa 9 Tonnen $10\frac{3}{4}$ Centner.

Um nun solche Pressen zum Aufziehen der vier Hauptröhren, ohne irgend welche Hülfsrüstung anwenden zu können, mussten die Röhren an ihren Enden angefasst werden.

Obgleich die Pressen zu diesem Zwecke von collossaler Grösse und für eine ungeheuere Kraftentwicklung angefertigt wurden, so waren sie doch nur auf einen Hub von 6 Fuss eingerichtet. Daher konnte die Höhe von circa 100 Fuss nicht in einem ununterbrochenen Aufsteigen erreicht werden, sondern sie musste durch eine Reihenfolge von mehreren Zügen, jeder zu 6 Fuss, zurückgelegt werden.

Um nun eine Röhre anzufassen, waren die Pressen in dem obersten Theil der Pfeiler, gerade über den Enden der Röhre und in solcher Höhe aufgestellt worden, dass ihre Stellung während des ganzen Aufzuges nicht verändert zu werden brauchte. Die Röhren der Conway-Brücke waren auf diese Weise mit Hülfe zweier Pressen, (eine über jedem Pfeiler) aufgezogen worden. Die Kolben dieser Pressen waren $18\frac{3}{4}$ Zoll stark und die Cylinder im Innern 20 Zoll weit, so dass zwischen beiden ein Spielraum von $1\frac{3}{16}$ Zoll für den Eintritt des Wassers verblieb. Die Metallstärke der Presscylinder betrug $8\frac{3}{4}$ Zoll. Diese beiden Pressen wurden beim Aufziehen der Röhren für die Britannia-Brücke wieder verwendet und zwar jedes Mal beide vereint an einem Röhrenende. Sie waren auf dem Britannia-Pfeiler aufgestellt. Auf den beiden anderen Pfeilern waren einfache Pressen, aber von noch grösseren Dimensionen errichtet. Der Kolbendurchmesser betrug bei ihnen 20 Zoll und die Dicke der Cylinderwandungen 11 Zoll.

Durch zwei Dampfmaschinen, jede von 40 Pferdekraft, wurde das Wasser in die Pressen getrieben. Die Dampfcylinder lagen horizontal, die Kolben hatten 17 Zoll Durchmesser und 16 Zoll Hub. Die Kolbenstangen reichten durch beide Cylinderdeckel hindurch und bildeten gleichzeitig die Mönchskolben für die Druckpumpen, welche $1\frac{1}{16}$ Zoll Weite und also gleichfalls 16 Zoll Hub hatten. Das walzeiserne Druckrohr, welches das Wasser nach den Press-Cylindern führte, besass $\frac{1}{2}$ Zoll Bohrweite, und $\frac{1}{4}$ Zoll Wandstärke, so dass sein äusserer Durchmesser 1 Zoll betrug; der von den Pumpen ausgeübte Druck vergrösserte sich nach Obigem in dem Verhältnisse von $1\frac{1}{16} : 20$, oder von $1 : 355$. Wenn eine Dampfmaschine mit voller Kraft arbeitete, betrug die verfügbare Kraft einer der letzterwähnten Pressen $355 \cdot 40 = 14200$ Pferdekraft. Aber die wirkliche Leistung jeder dieser grösseren Pressen an dem einen und der beiden vereinten kleineren, an dem anderen Ende einer Röhre, bestand nur im Aufziehen von 900 Tonnen. Daher gleicht die Kraftäusserung einer der Pressen mit 20zölligen Kolben, auf eine zöllige Kreisfläche 2,25 Tonne, oder 5040 Pfund.

Ein plötzlicher Unfall, welcher sich an einer der grossen Pressen, nämlich der auf dem Anglesea-Pfeiler stehenden,

während des Aufziehens der ersten Röhre ereignete, verdient hier Erwähnung, weil sich daraus eine gute Lehre für ähnliche Fälle ziehen lässt, und weil dadurch auch ein bedeutender Aufenthalt im Aufziehen der Röhre verursacht wurde. Nachdem nämlich drei sechsfüssige Züge glücklich geschehen waren und der vierte Hub etwa $\frac{5}{12}$ seiner Länge oder 2 Fuss 6 Zoll erreicht hatte, trennte sich plötzlich der Boden des Presscylinders vollständig los und stürzte — ein Gewicht von $1\frac{1}{2}$ Tonne = mit fürchterlicher Gewalt 70 bis 80 Fuss tief hinab auf die Decke der Röhre. Der Kolben im Presscylinder sank eben so plötzlich zurück und die Röhre würde dadurch den gleichen Raum von 2 Fuss 6 Zoll zurückgefallen sein, wäre nicht eine sehr kluge Vorsicht für den Fall einer Unterbrechung des Aufzugs gebraucht worden. Es wurden nämlich in demselben Maasse, als die Röhre aufstieg, Zoll für Zoll Bretter unter dieselbe geschoben, die man später wieder wegnahm und durch Ziegelmauerwerk ersetzte. Auf diese Weise betrug der von der Röhre durchfallene Raum nur etwa 1 Zoll.

Der herabgestürzte Cylinderboden verursachte einen tiefen Eindruck in der Röhrendecke und erschlug einen Matrosen, der eben auf einer Strickleiter von der Röhre aus nach der Presse hinaufstieg.

Die Ursache dieser Cylinderberstung ist mit Rücksicht auf die eigenthümliche Form und das Aussehen der Bruchfläche, sowie aus der bekannten Neigung des Gusseisens, ungleichmässig abzukühlen, und daher ungleich zu schwinden, erklärt worden. Bei so grossen Gussstücken, wie dieser geborstene Cylinder nothwendiger Weise eines war, wächst dieses Bestreben in gefährlichem Maasse. Der Boden des Cylinders war auf der Innen- wie auf der Aussenseite fast ganz flach und bildete daher mit den Cylinderwandungen beiderseitig scharfe Kanten. Solche Stellen kühlen stets langsamer ab und erhalten dadurch eine geringere Dichtigkeit ihres Gefüges, als die gleichmässig starken Wandungen. Der herausgefallene Cylinderboden hatte genau die Gestalt eines abgekürzten Kegels, dessen obere Kreisfläche die innere, dessen Grundfläche die äussere Bodenfläche des Cylinders darstellte und dessen Schräge durch die Stärke des Bodens selbst bedingt war. Der Vergleich dieses

abgetrennten Bodens mit der Gestalt eines sehr grossen Kegelventils ist nicht unpassend.

Es wurde dieser flachbodige Presscylinder durch einen anderen mit halbkugelförmig gebildetem Boden, von derselben Dicke wie die Cylinderwandung, ersetzt. Und um einem abermaligen Unfall noch sorgfältiger zu begegnen, wurde auch das Querstück oder Haupt des Kolbens auf beiden Seiten in dem Maasse als der Kolben beim Heben der Röhre aufstieg, unterbaut, so dass dieser nicht einmal mehr zurückfallen konnte.

In Figur 37 ist an der noch unterwegs befindlichen Röhre eine hängende Bühne angedeutet, von welcher aus das Unterbauen der Röhre mit Holz und Ziegel geschah.

Gusseiserne Rahmen zur Armirung der Röhrenenden und Befestigung der Hebeketten. — Die Figuren 38 und 39 geben hinreichende Erklärung dieser Rahmen. Die verticalen Stücke *AA* derselben, sind an die Seitenwände der Röhren mit Bolzen befestigt. Fig. 39 zeigt deren Querschnitt. Das Querstück *C*, unterhalb dessen noch zwei andere in gleichen Abständen zwischen die verticalen Rahmstücke *AA*, eingespannt waren, diente in Gemeinschaft mit letzteren zur Befestigung der Hebeketten. Der Sicherheit wegen waren diese drei Querbalken *C* noch durch zwei starke walzeiserne, **A**-förmig über sie weglauende und an den Kreuzungsstellen mit ihnen verbolzte Schienen, unter einander verbunden.

Conway-Brücke. — Dieselbe wurde, wie schon erwähnt, früher als die Britannia-Brücke errichtet und befindet sich gleichfalls in der Nähe einer von Telford in früheren Zeiten errichteten Kettenbrücke. Sie besteht nur aus einer Oeffnung von 400 Fuss Weite. Die Auflag-Pfeiler der Röhren sind ganz harmonisch mit dem dicht dabei befindlichen Conway-Schlosse gebaut. Die Höhe der Röhren über dem Niveau des Hochwassers beträgt nur 18 Fuss. Die Brücke enthält ebenfalls zwei parallele Röhren, von denen jede ein Schienengleis einschliesst. Diese Röhren wurden eine nach der andern an dem nahgelegenen Ufer gebaut und auf dieselbe Weise, wie bei der Britannia-Brücke beschrieben worden, von dem Bauplatze weg bis an ihre Stelle auf die Pfeiler gebracht.

Die erste dieser Röhren wurde durch eine Beschwerung mit 300 Tonnen Eisen auf ihre Tragfähigkeit geprüft. Diese Belastung brachte nur eine Durchbiegung von 3 Zoll in der Mitte der Röhrenlage hervor, welche sich jedoch mit der Entfernung des Gewichts wieder verlor. Die Decke jeder Röhre enthält ebenfalls 8, der Boden hingegen nur 6 Zellen. Beim Passiren eines Zuges soll sich die Röhre $\frac{1}{8}$ Zoll durchbiegen.

Figur 40 und 41 veranschaulichen die Vorkehrungen, um die Röhren der Conway-Brücke mit Hülfe der hydraulischen Pressen aufzuziehen. Fig. 40 enthält den Querschnitt einer Röhre, nahe an einem ihrer Enden, die Ansicht der hydraulischen Presse, der Zugketten, der gusseisernen Armirungs-Rahmen der Röhrenenden, etc.

Figur 41 zeigt den Längendurchschnitt durch ein Röhrenende und durch die Mitte der Presse.

In beiden Figuren bedeuten dieselben Buchstaben die nämlichen Gegenstände.

I.

Fig: 1

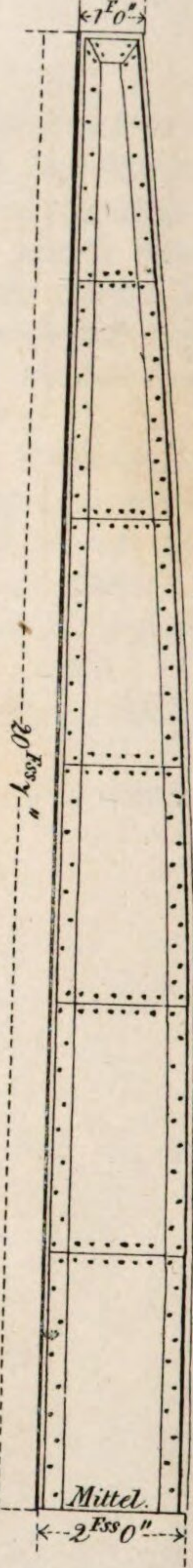


Fig: 5

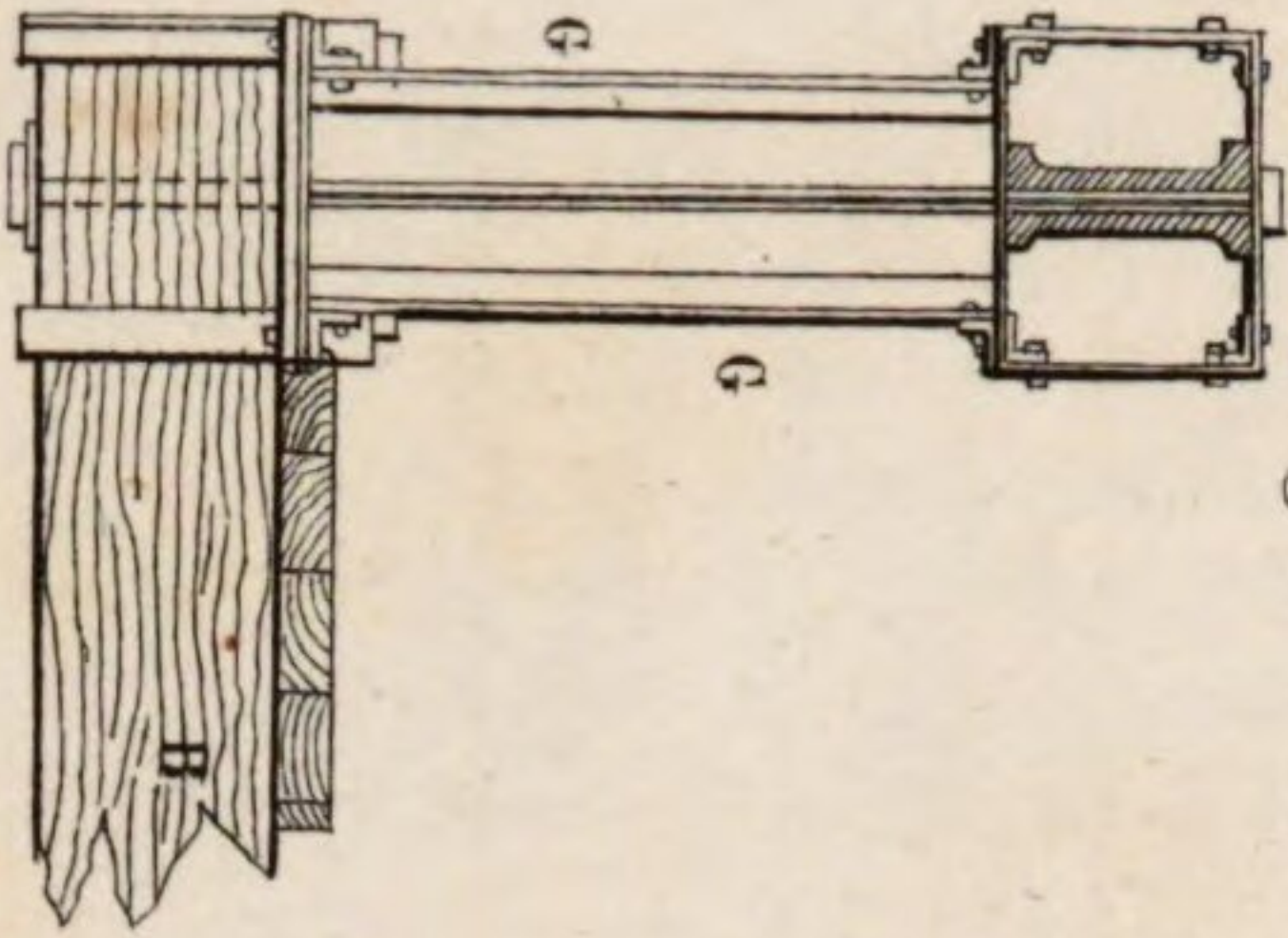


Fig: 2.

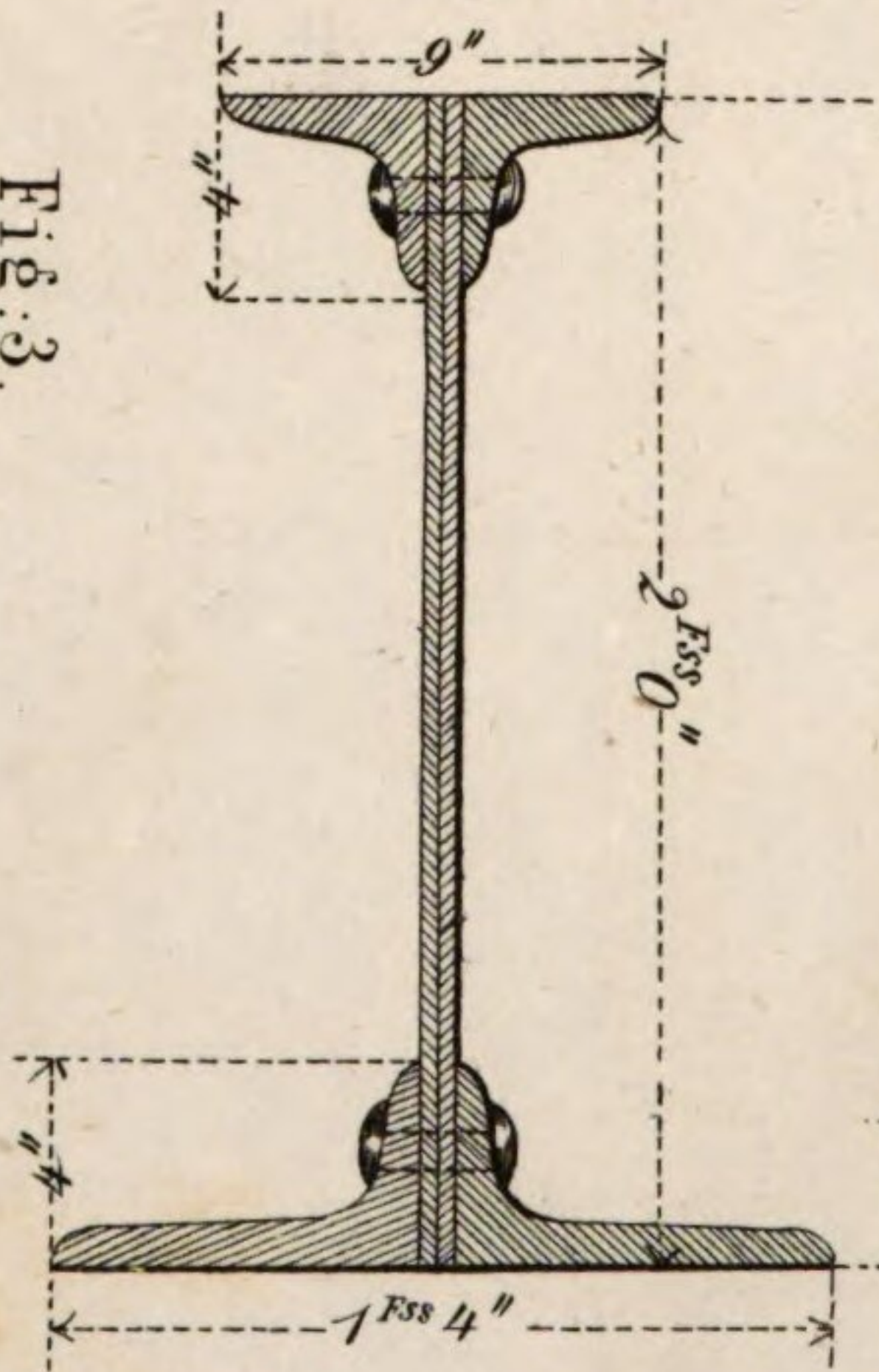


Fig: 3.

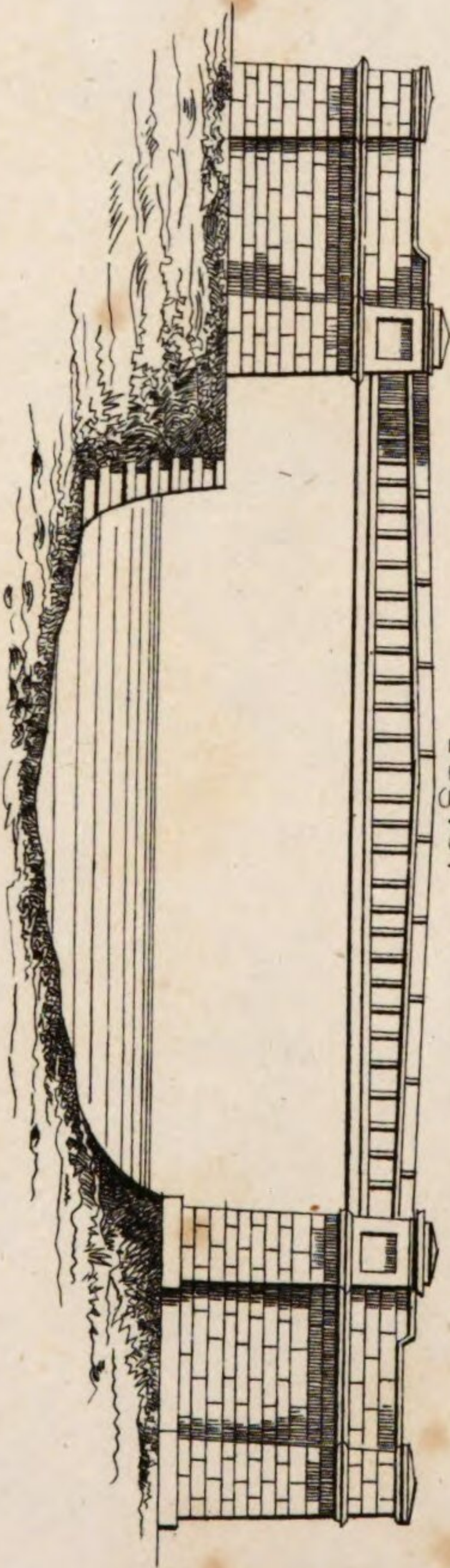


Fig:6.

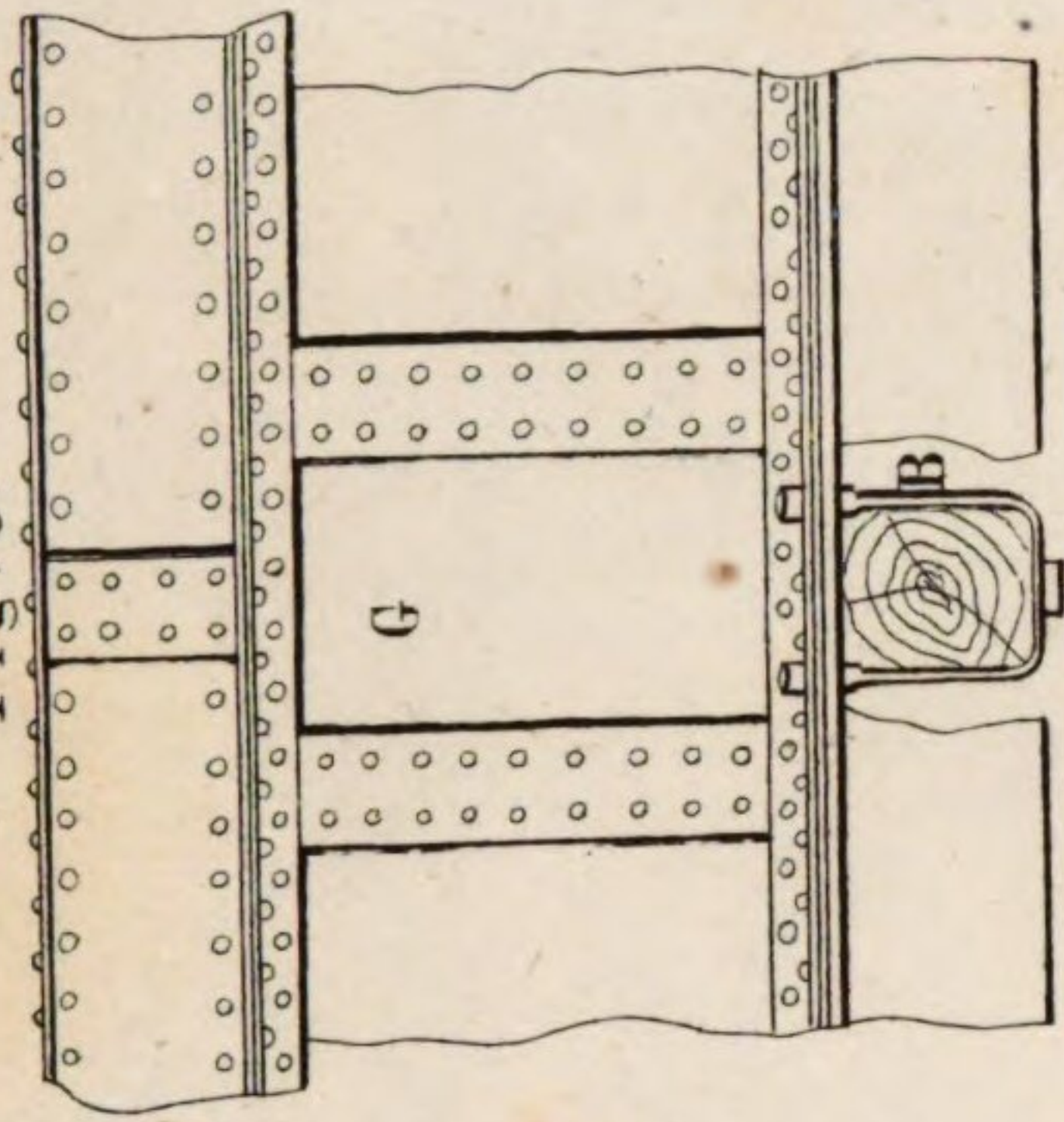


Fig:4

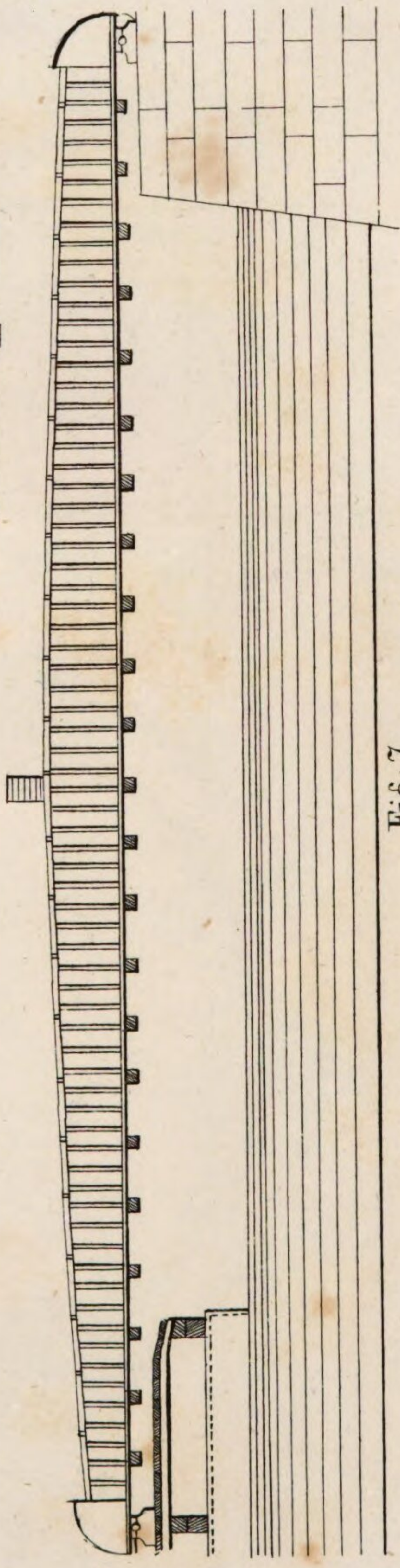
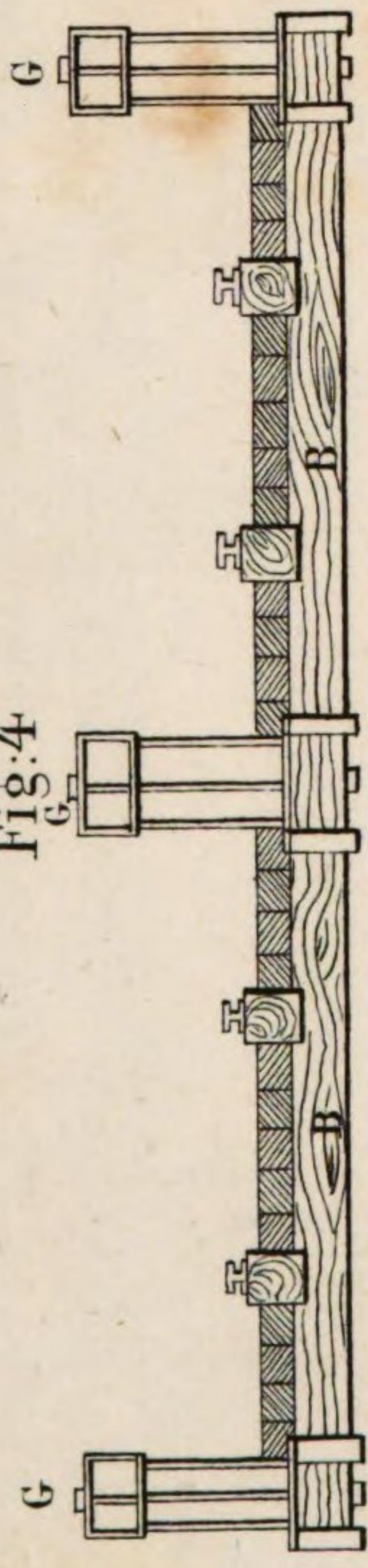


Fig:7.

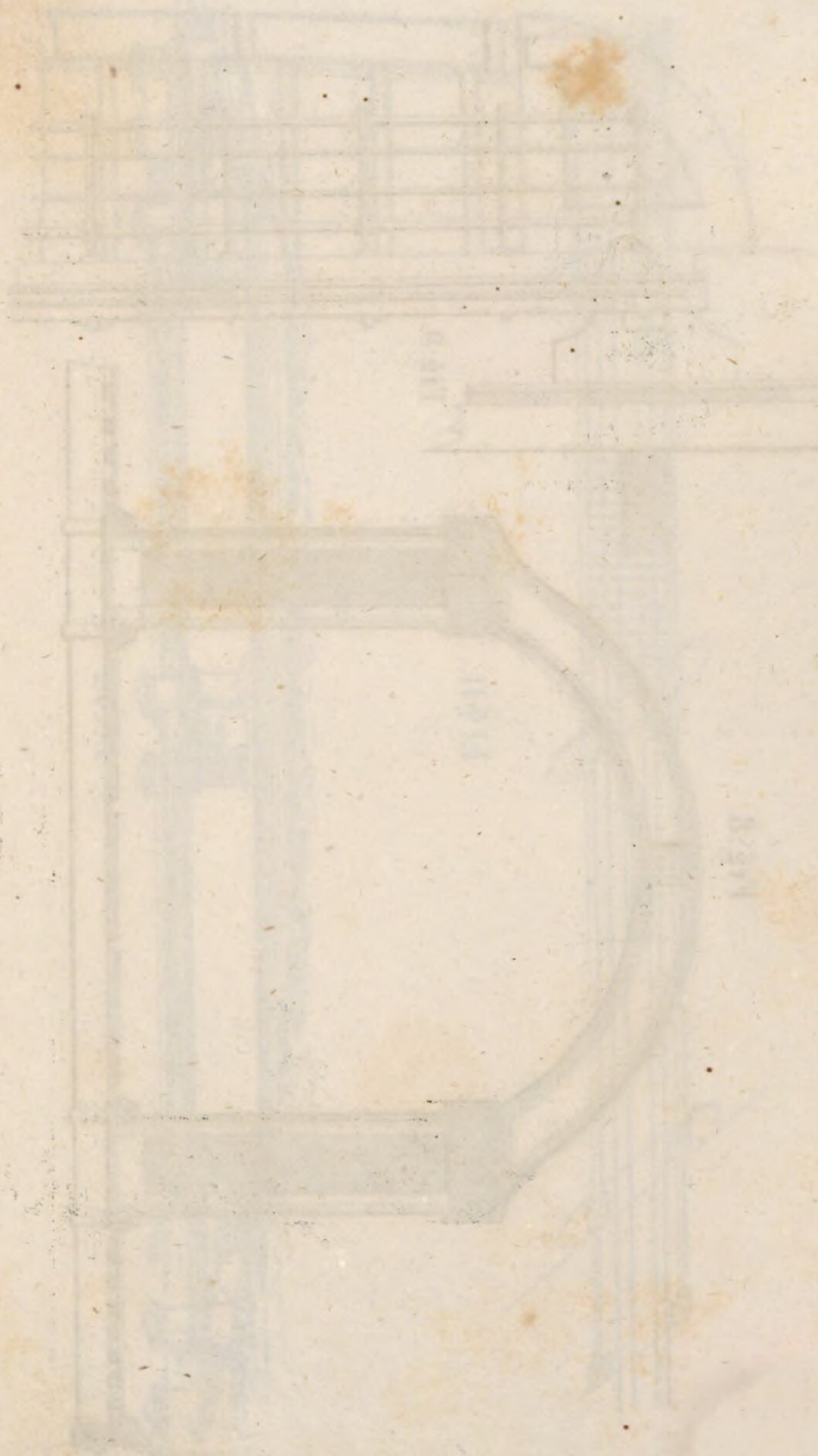


Fig:8.

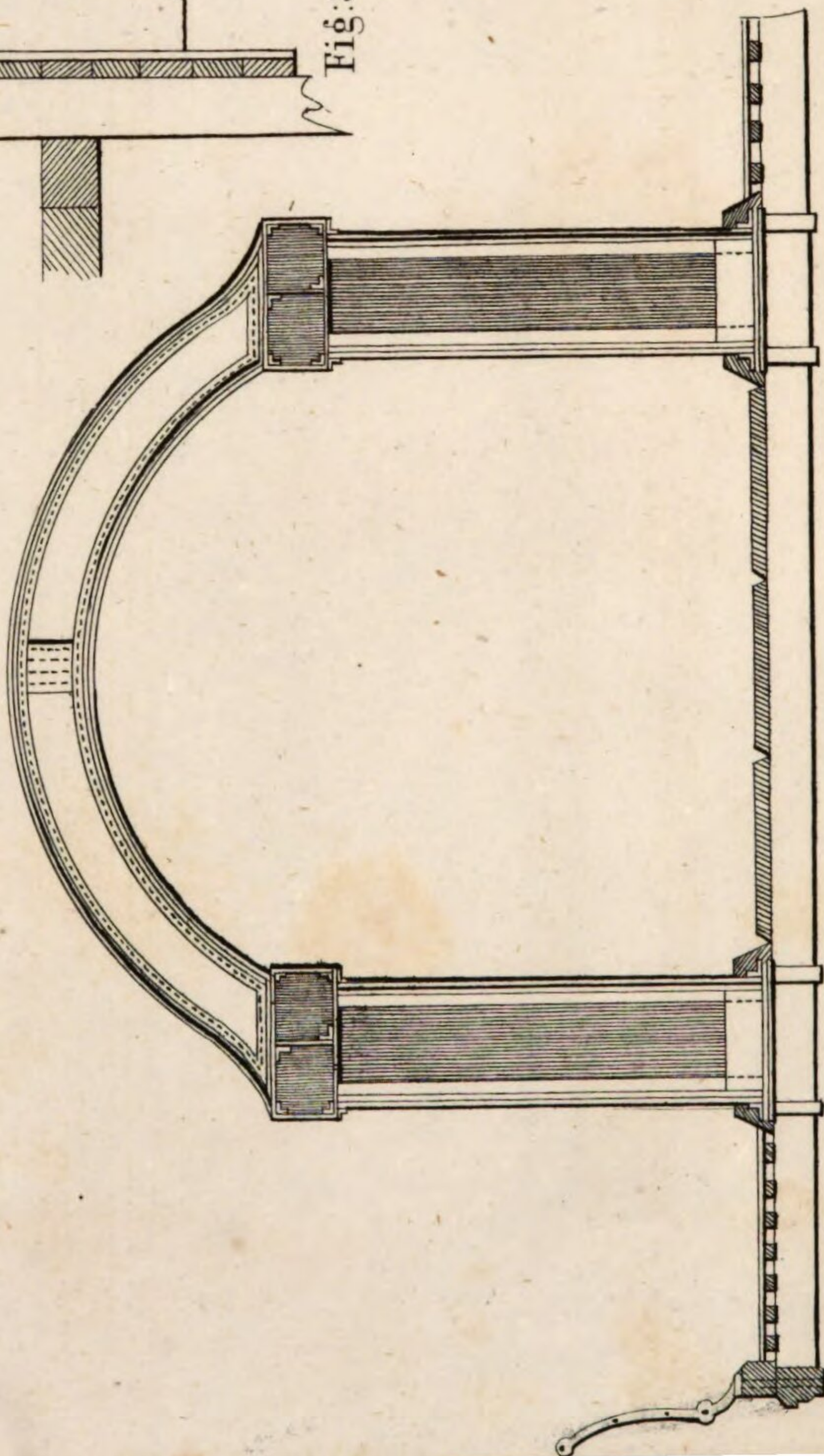


Fig:9.

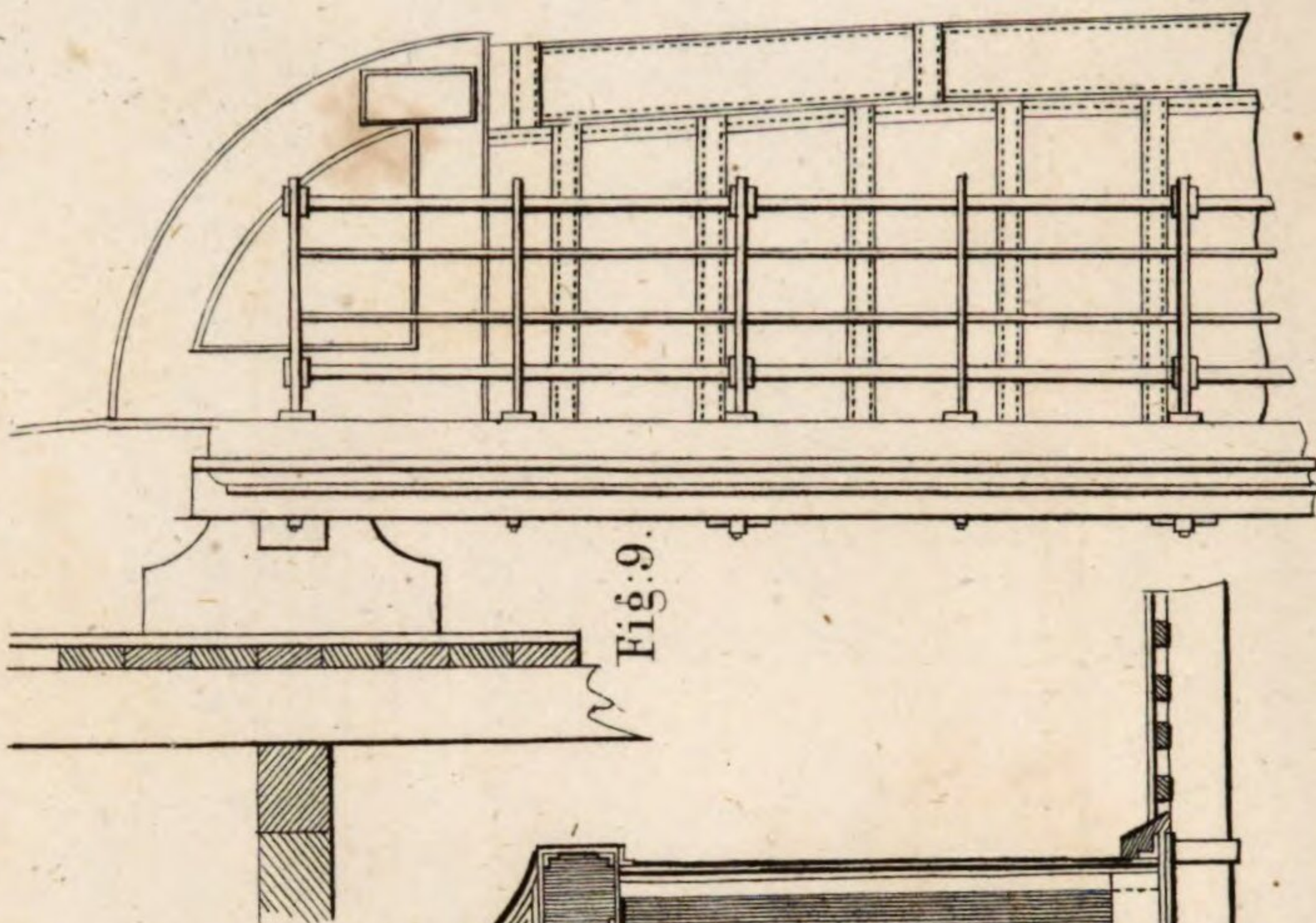


Fig:10.

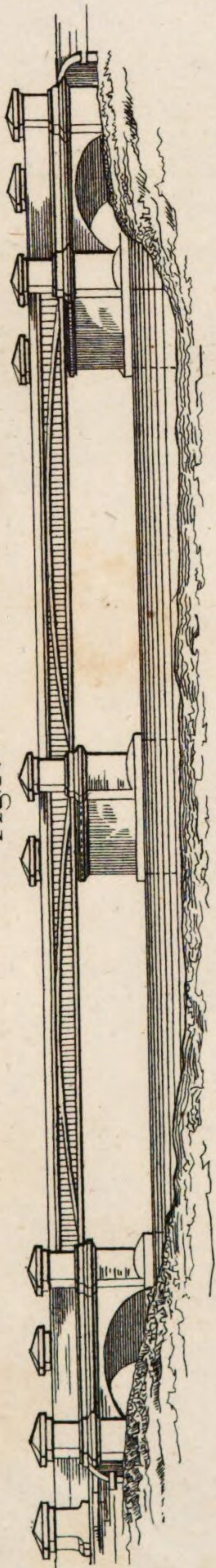
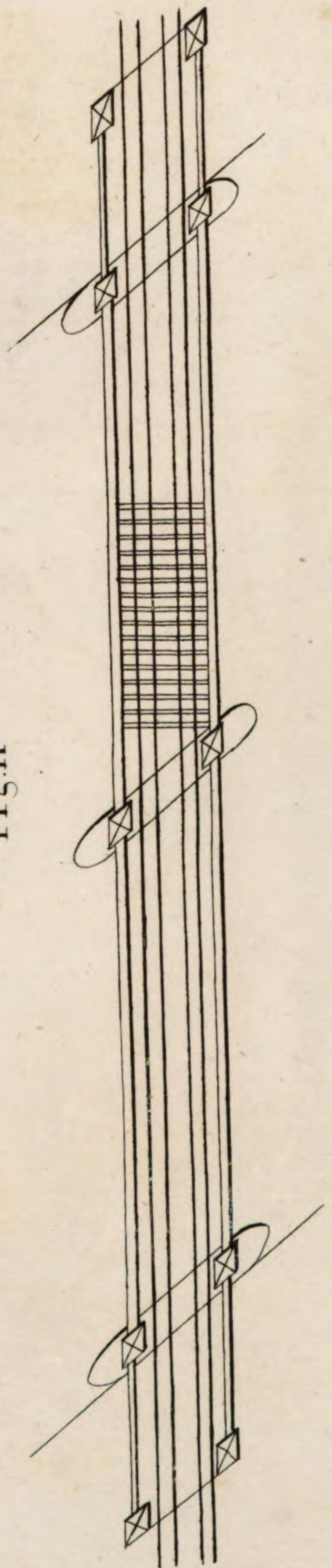


Fig:11



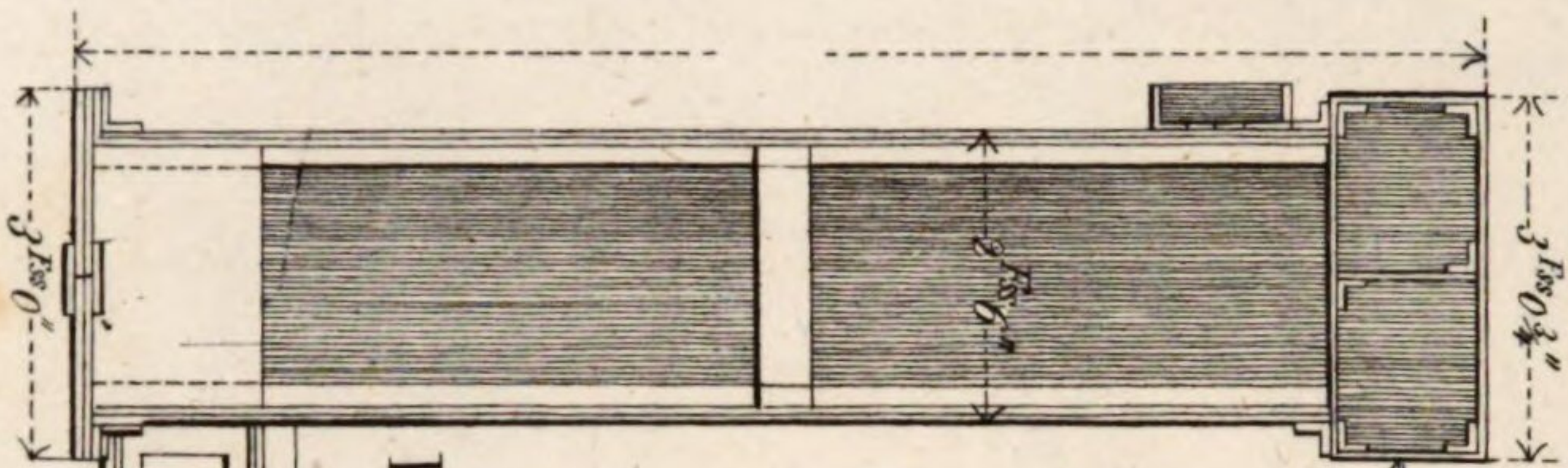


Fig. 12.

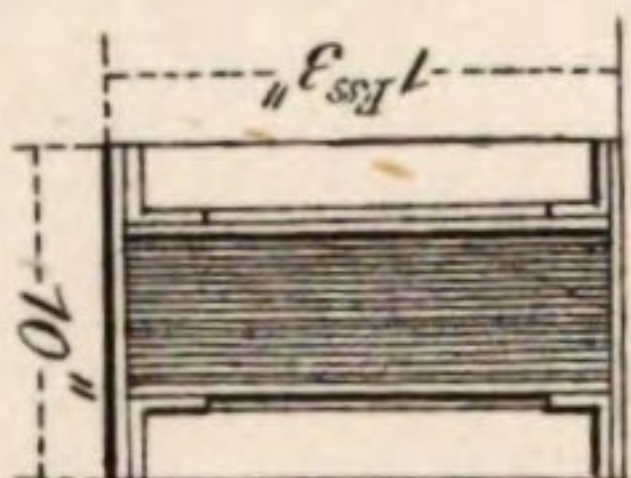
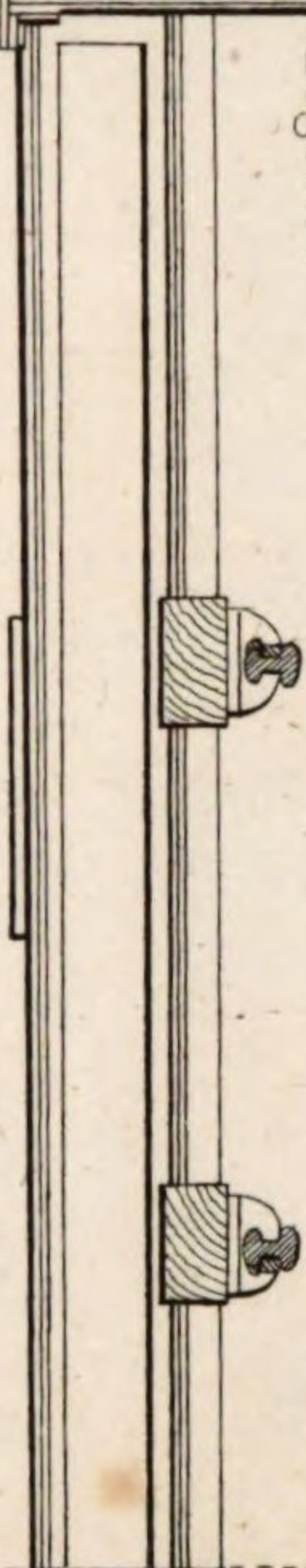


Fig. 13.



Mittellinie

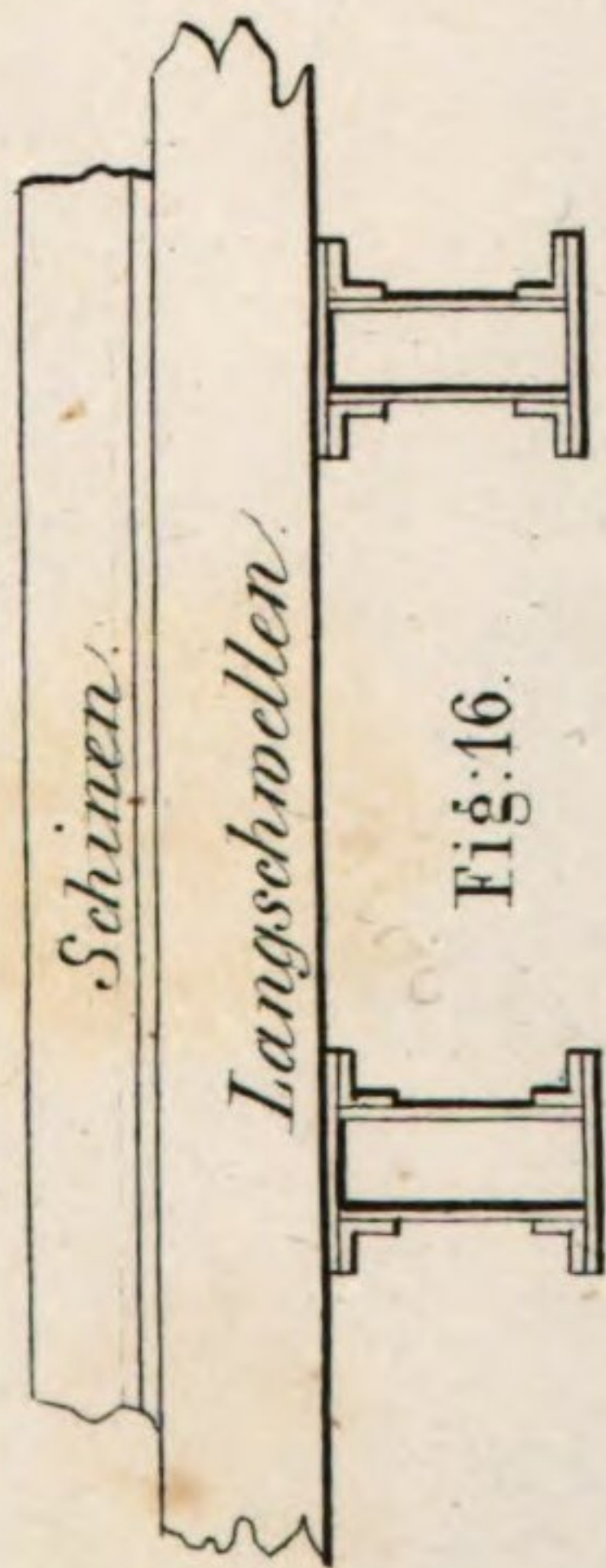


Fig:16.

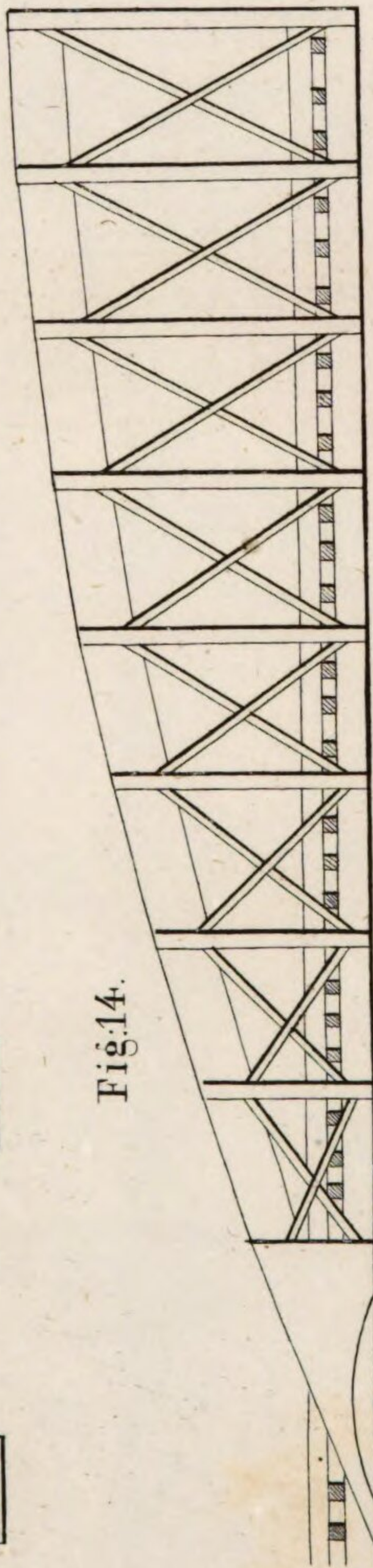


Fig:14.

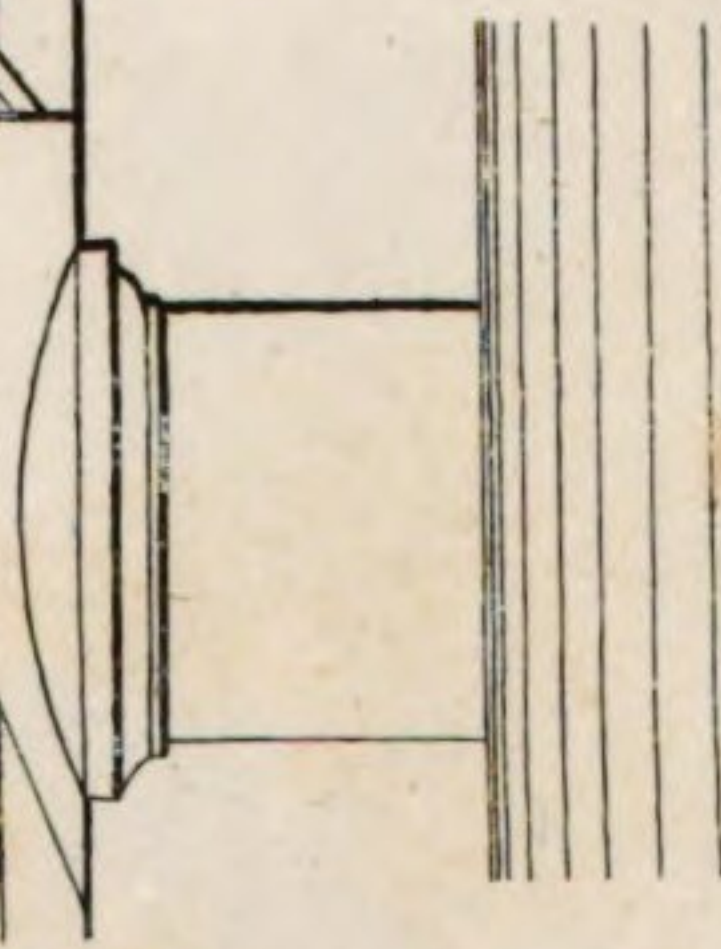
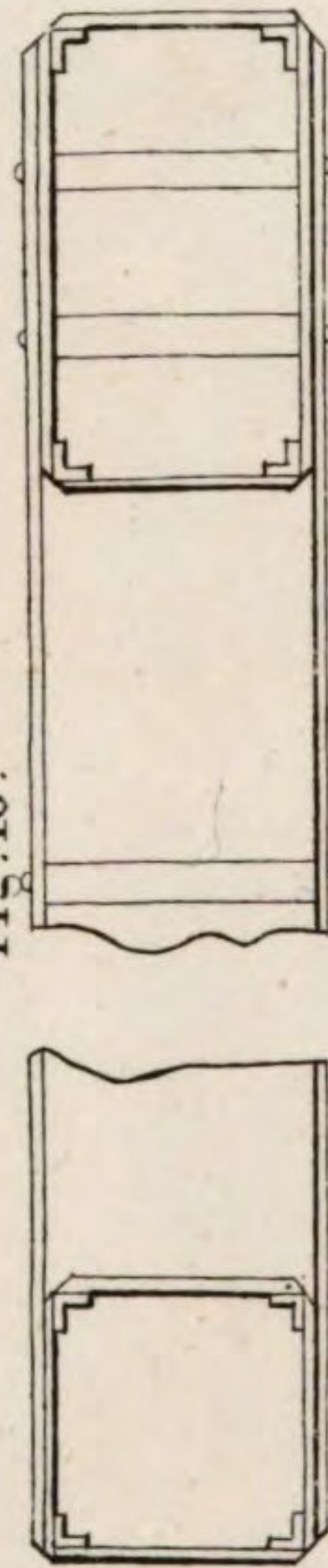


Fig:15.



IV

11211

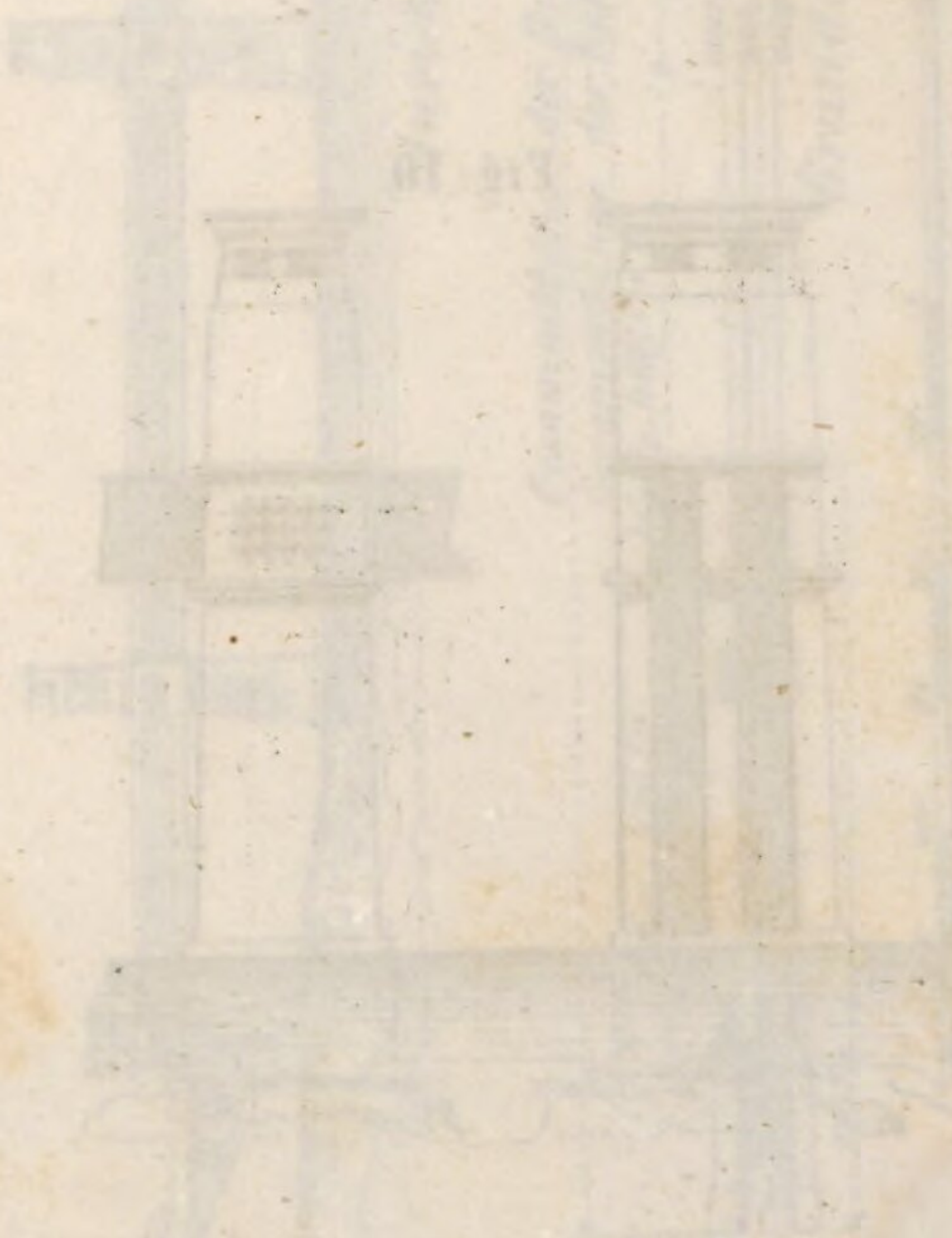
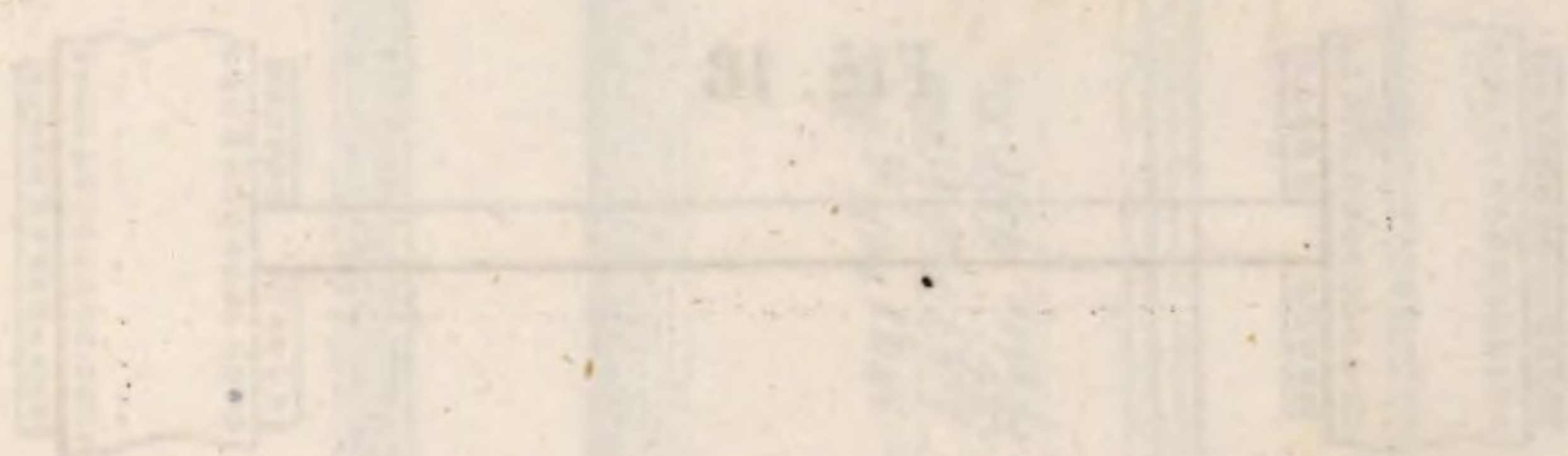


Fig:17.

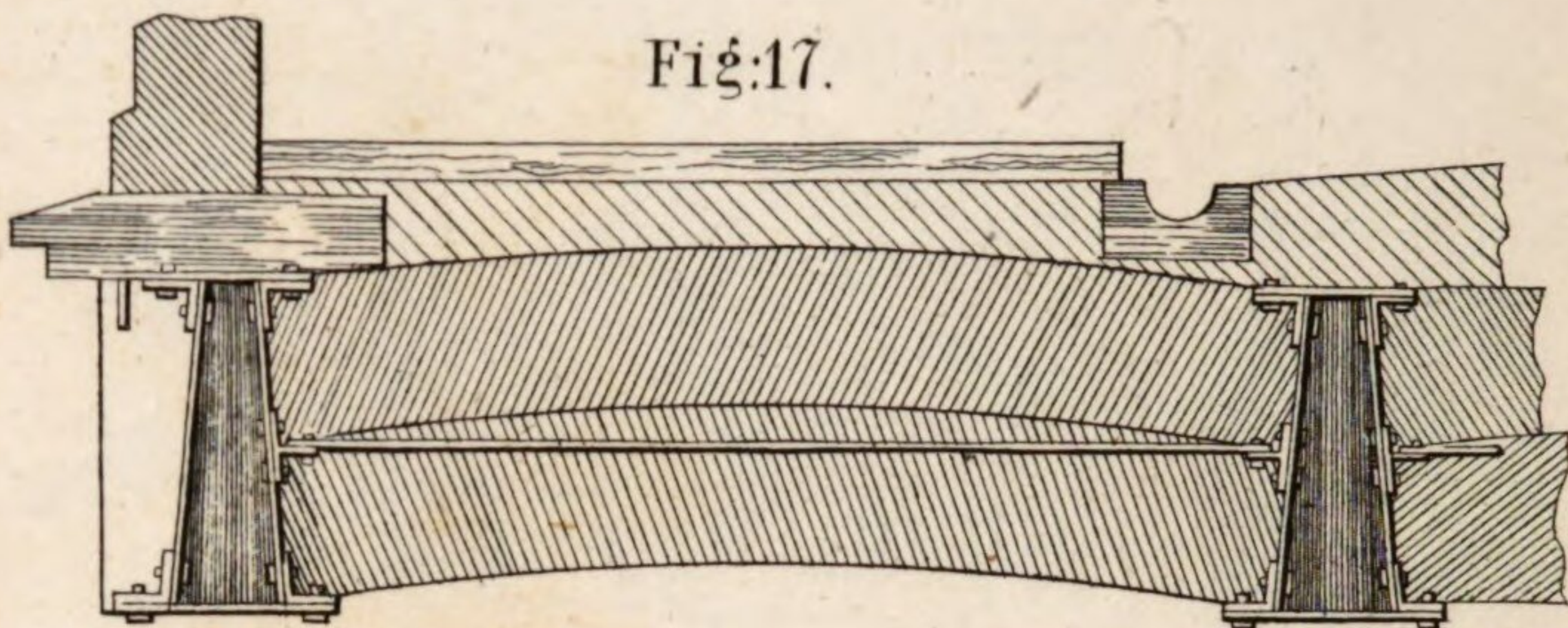


Fig: 18.

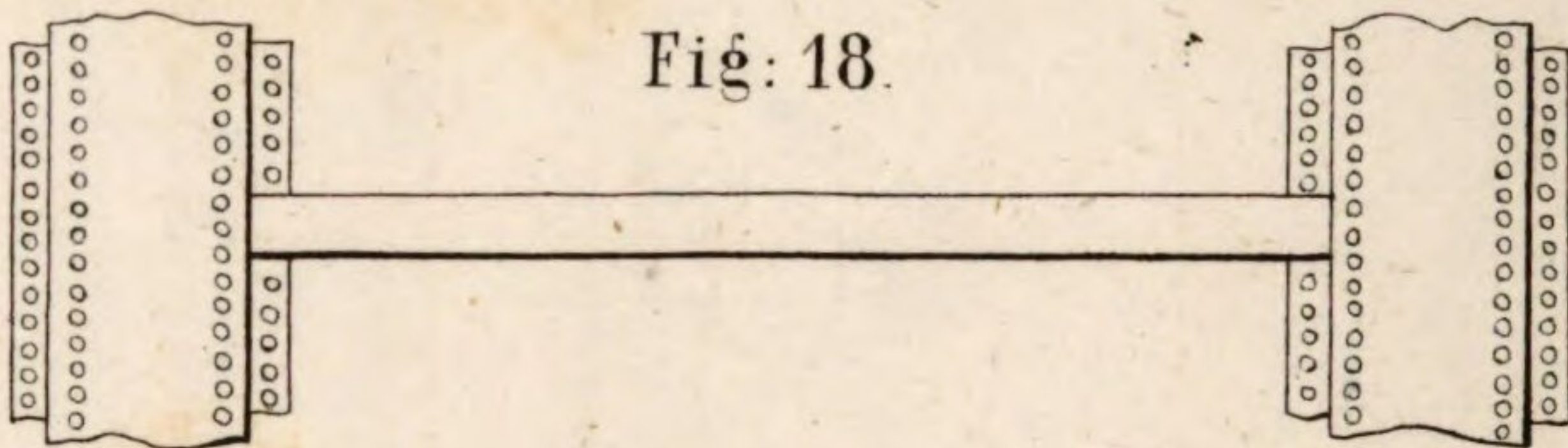
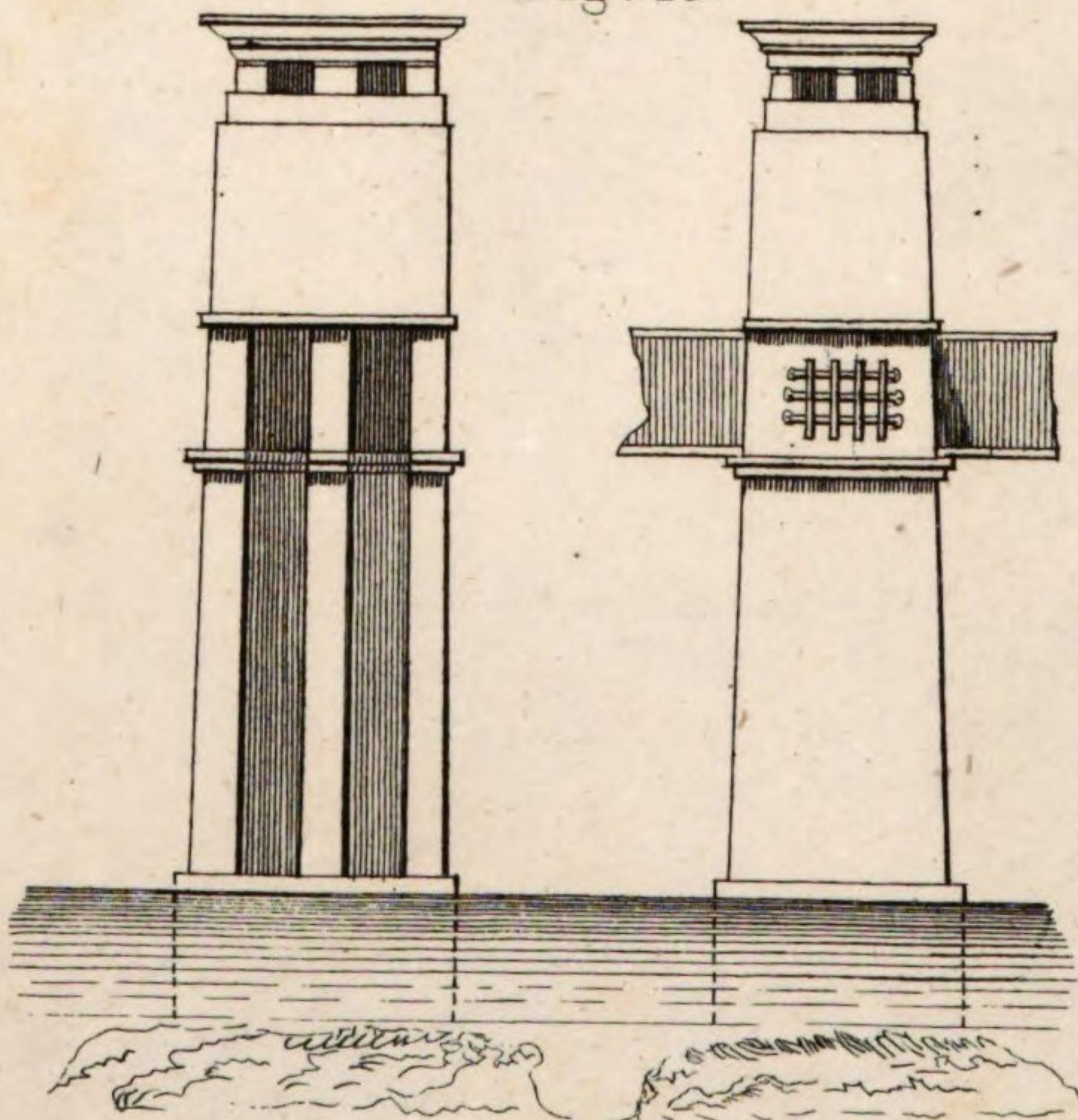
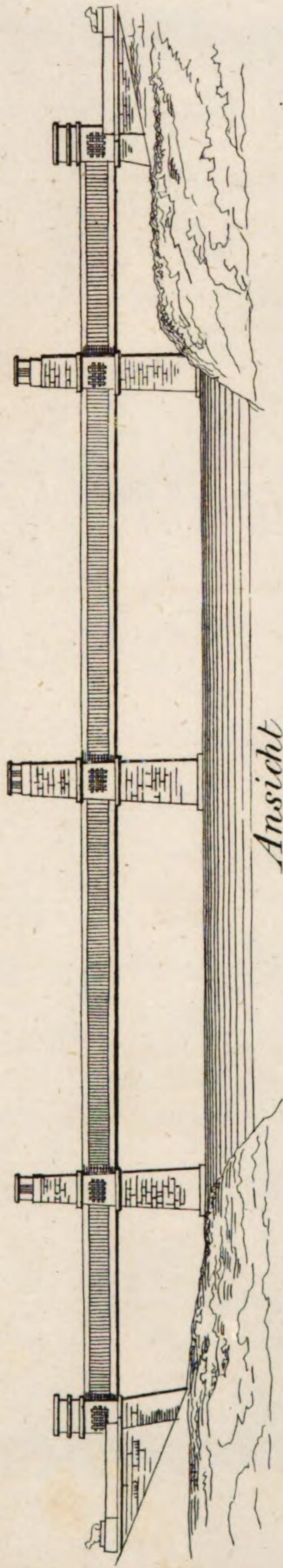


Fig: 19.





Ansicht

Gesamtlänge der Brücke 1841 Fuß 6 Zoll

Gesamtlänge der Röhren 1513 Fuß 0 Zoll

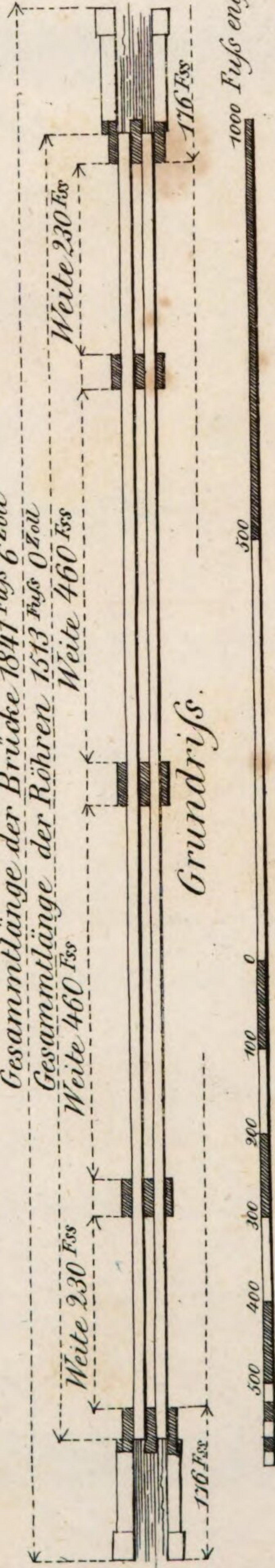
Weite 460 Fss *Weite 460 Fss*

Wrote 9.30 Fss

Weite 460 Fss

Weite 230 Fss

Grundriss.



1000 Fuß engl.

500

0

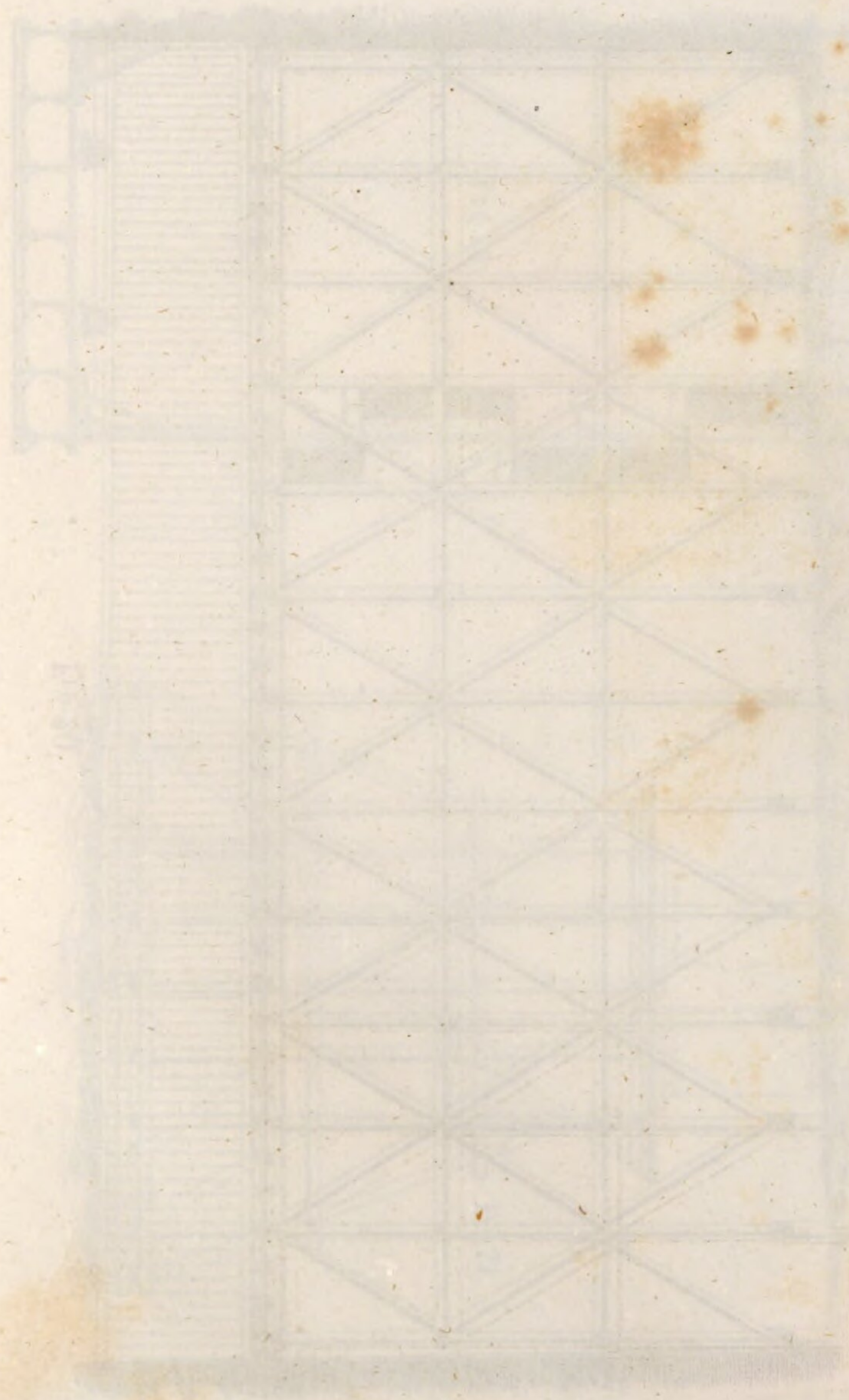
100

200

300

400

500



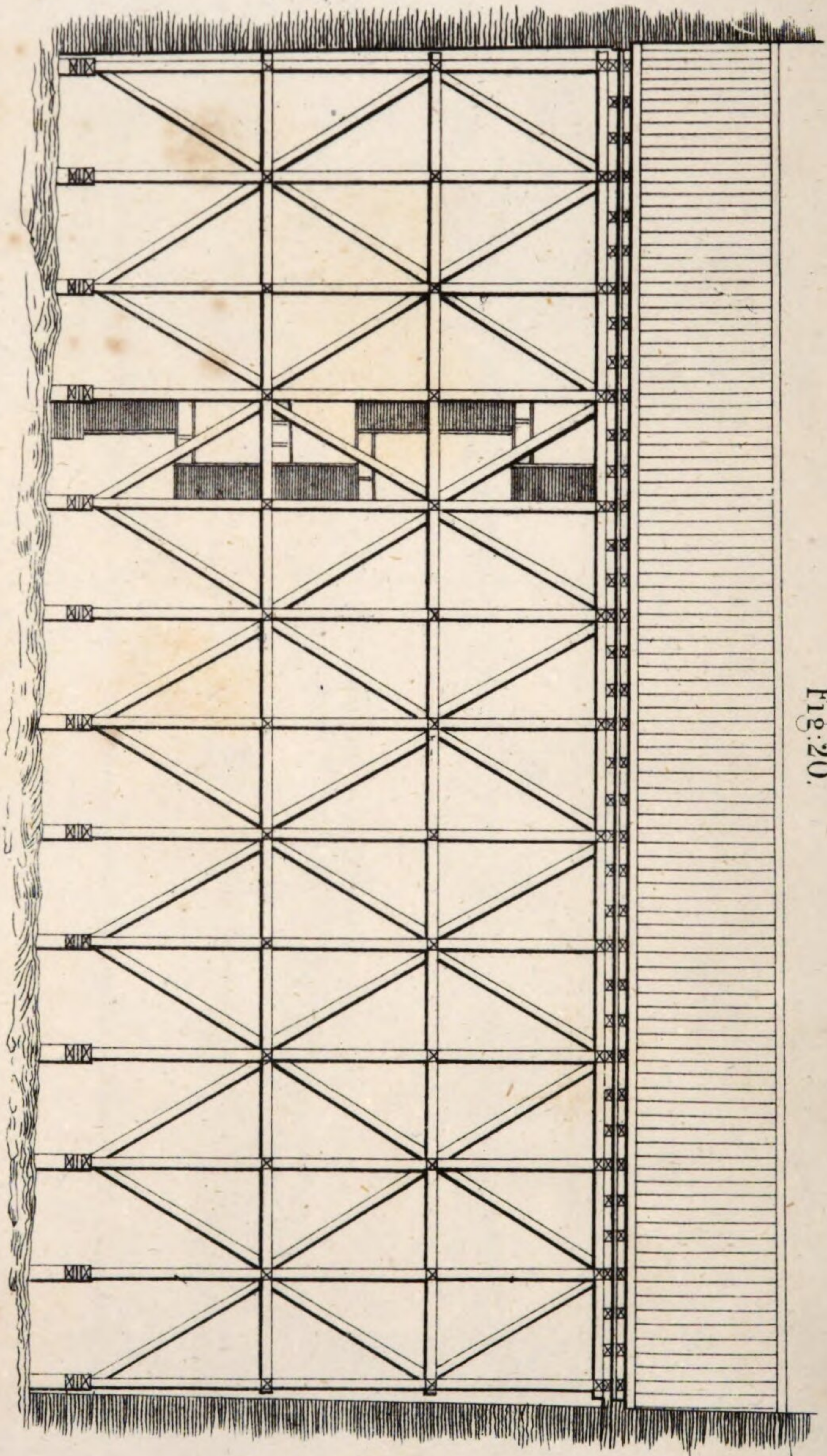
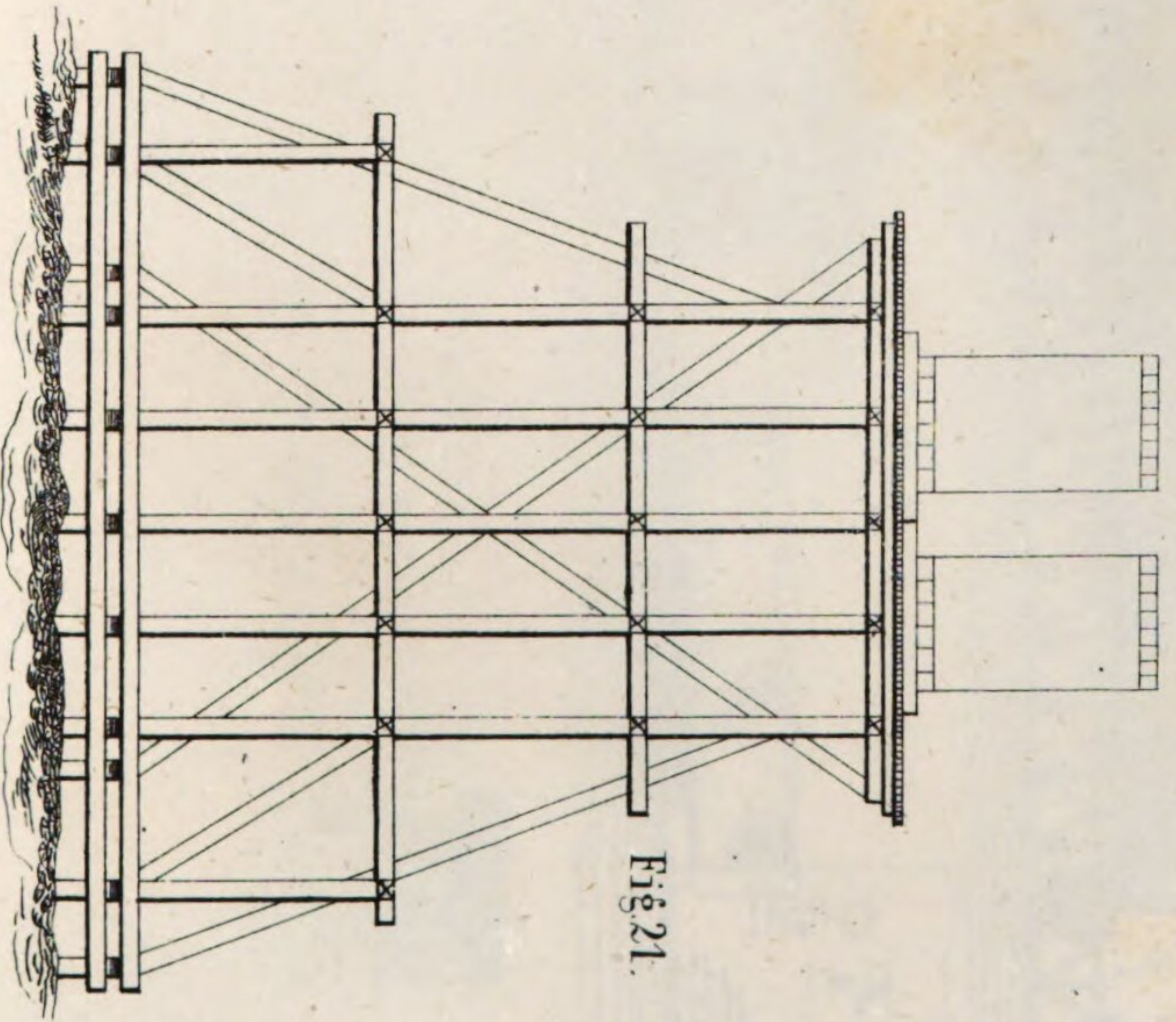
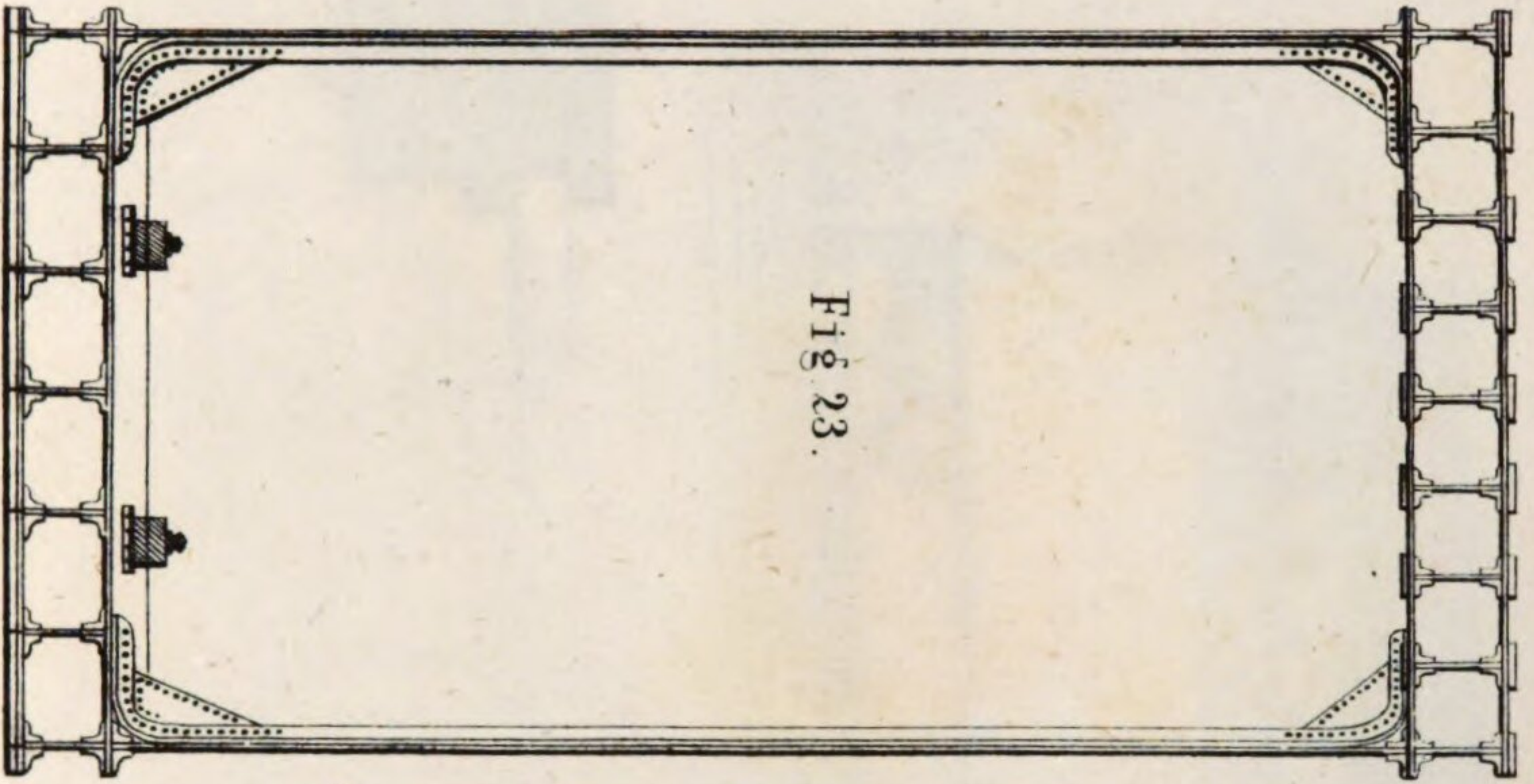
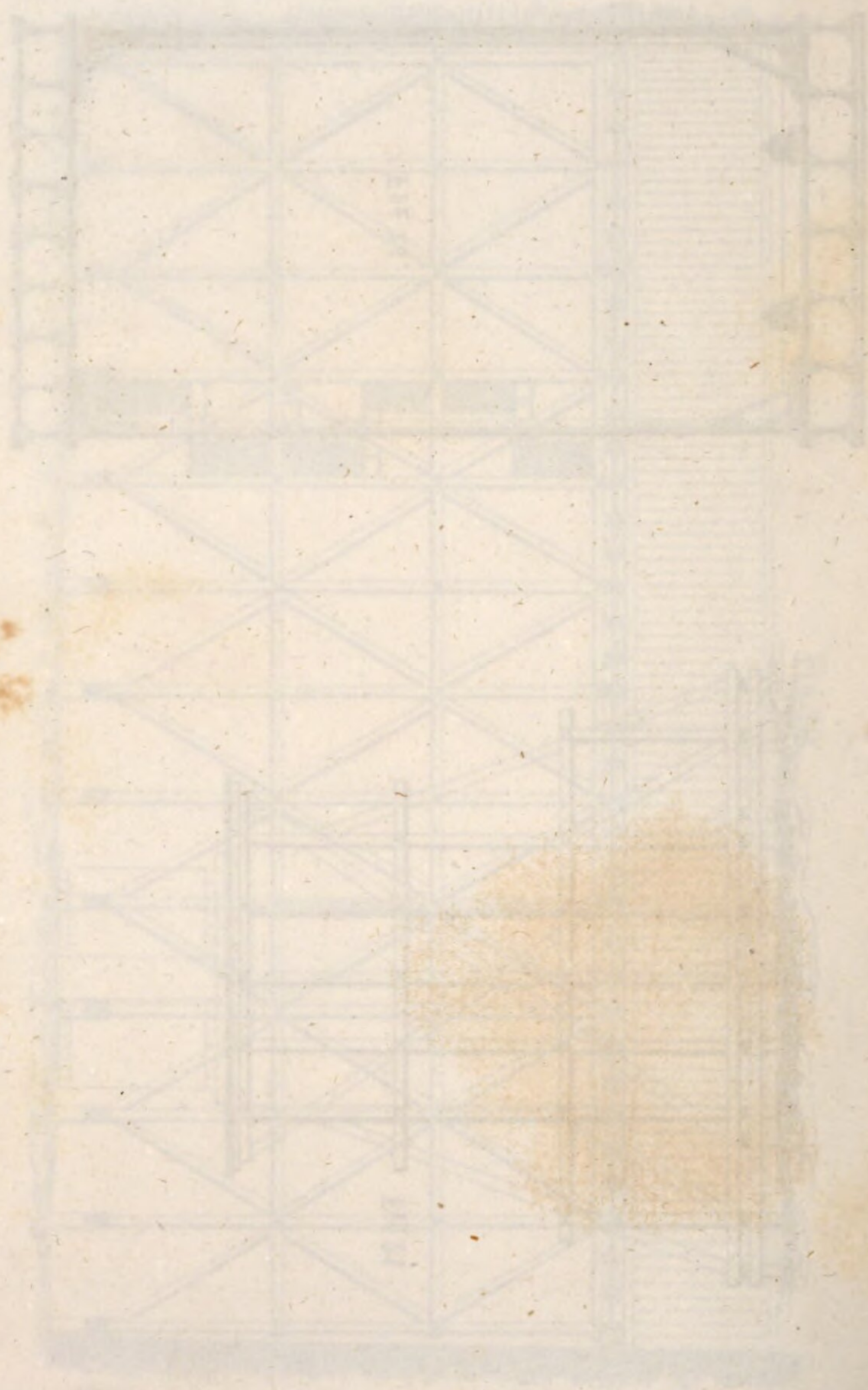
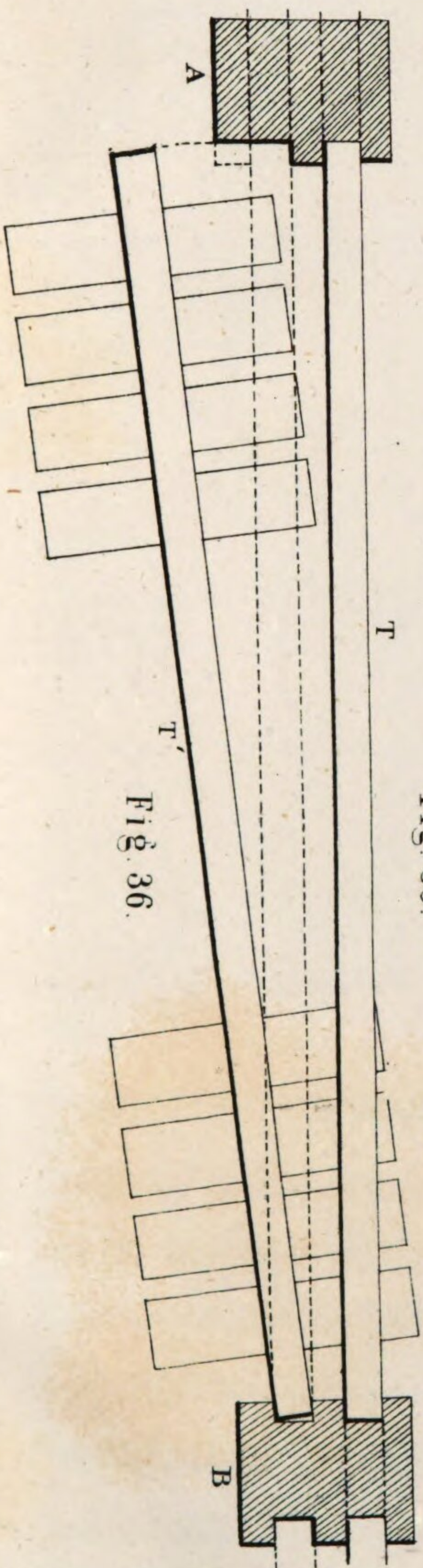
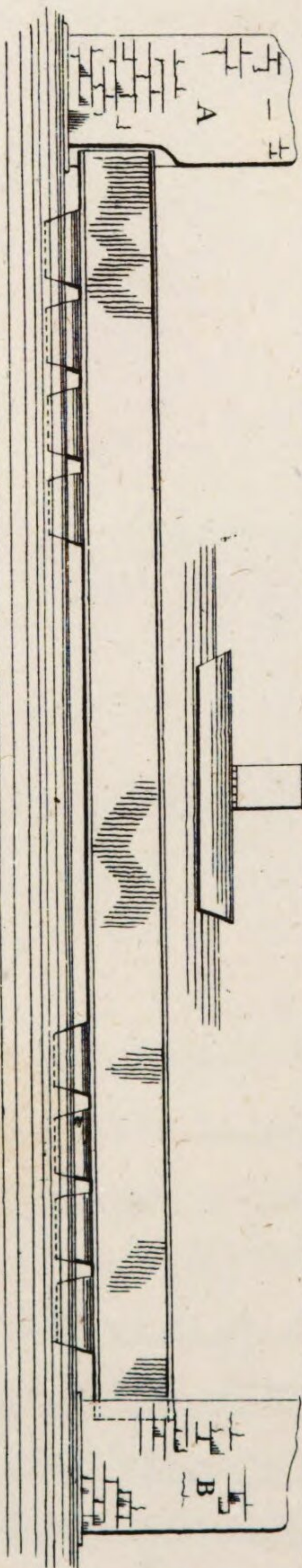
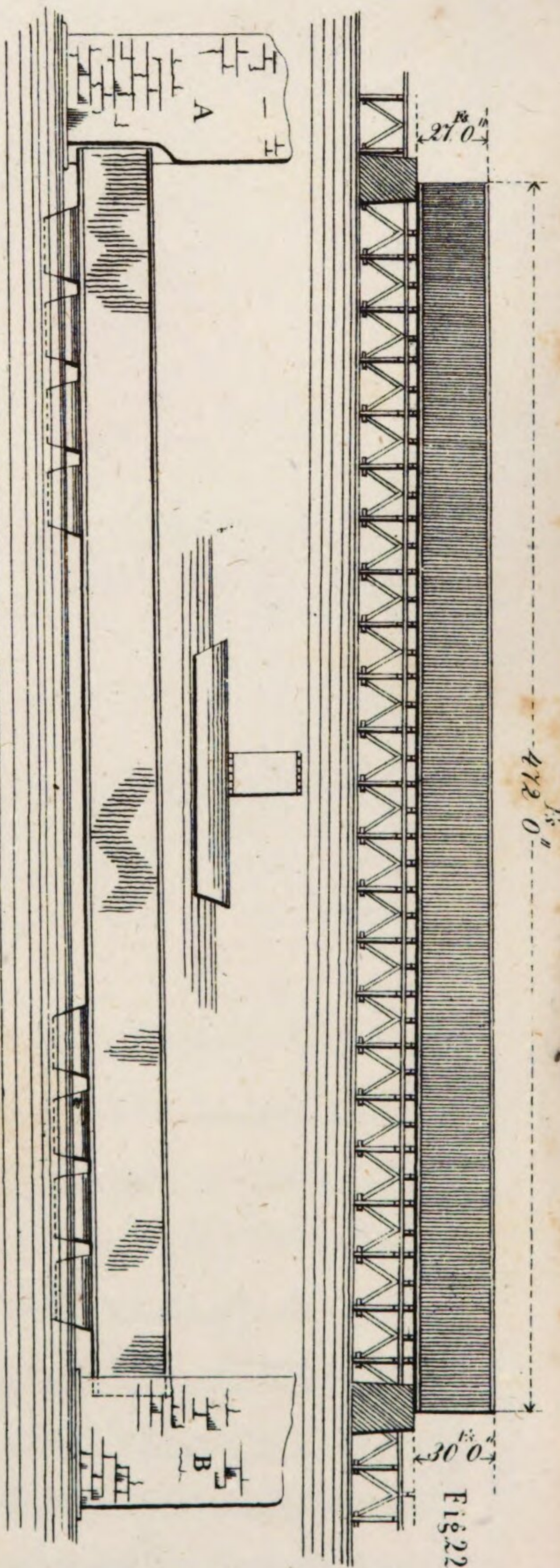


Fig. 20.







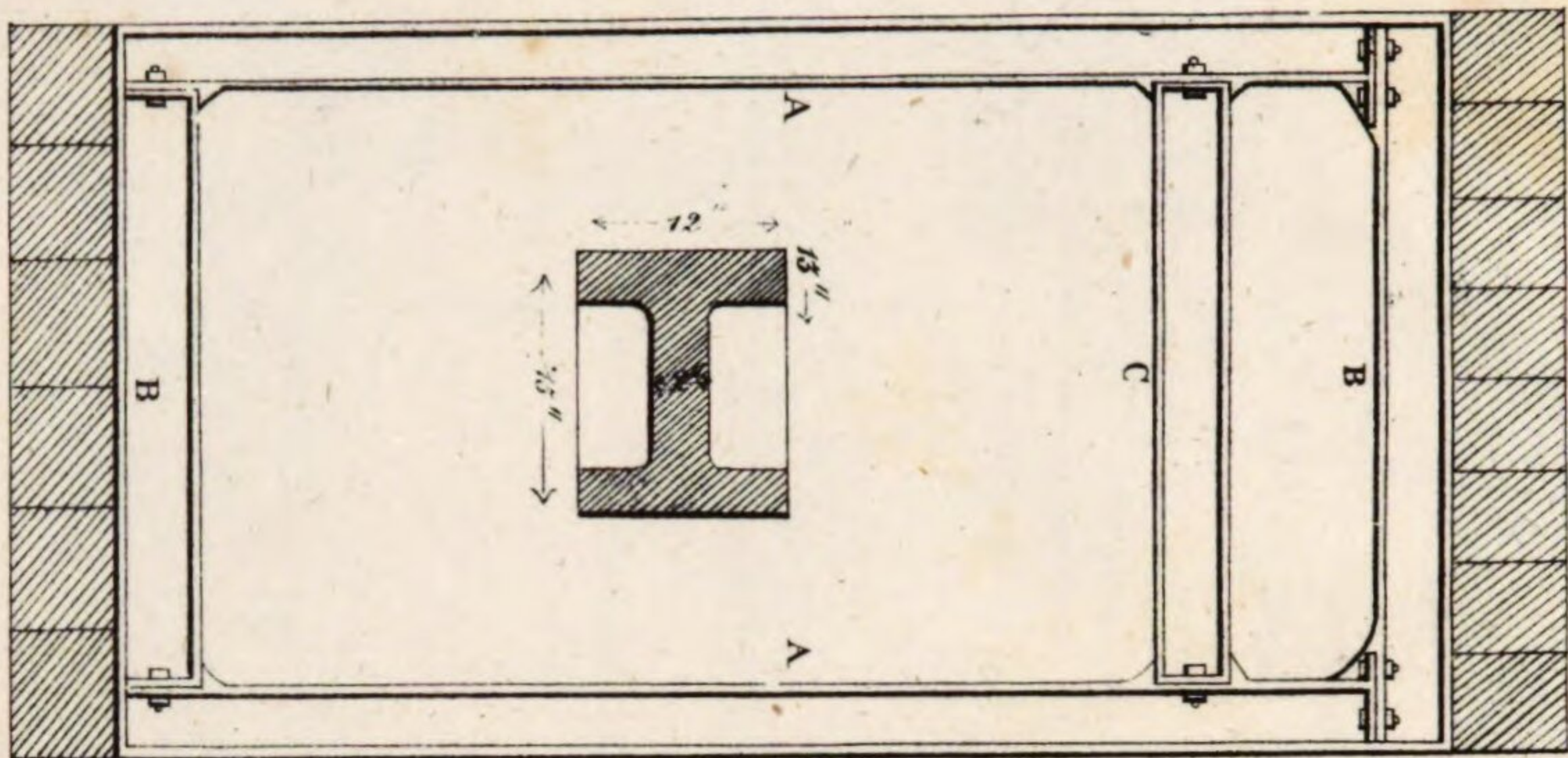


Fig. 38.

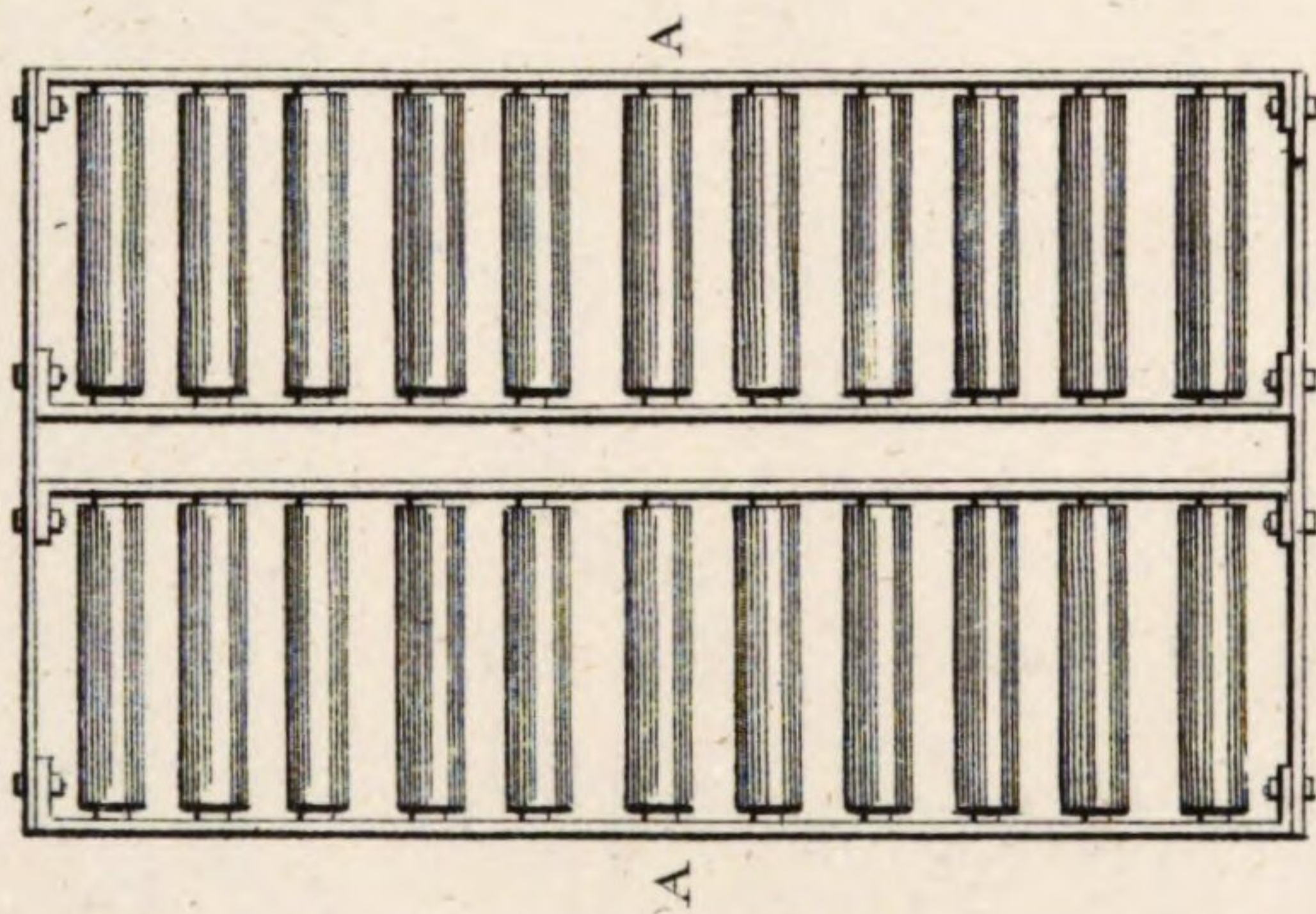


Fig. 32.

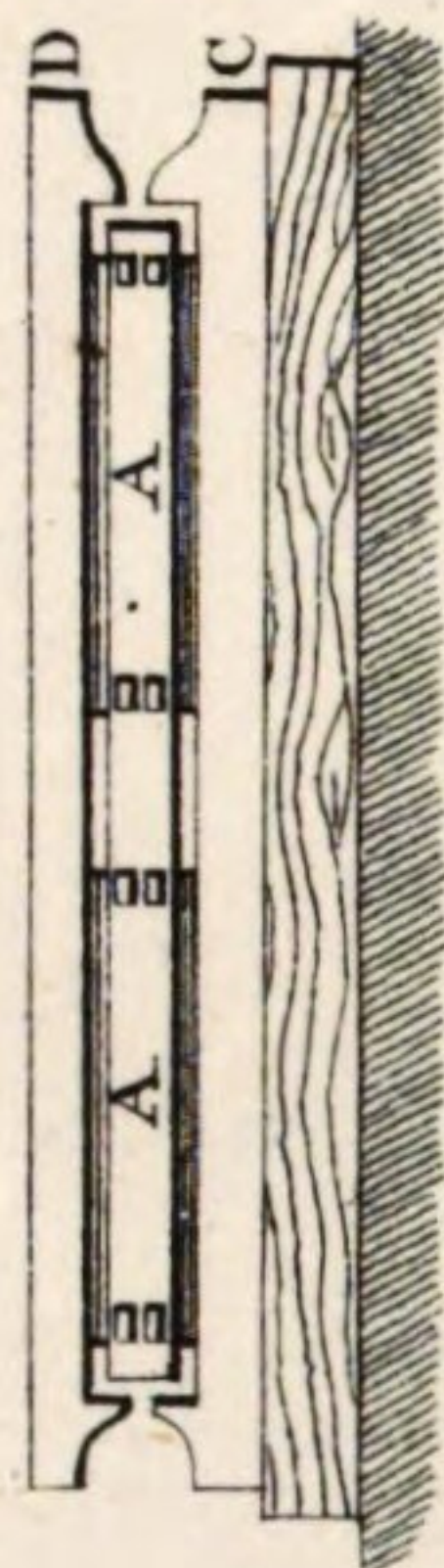


Fig. 33.

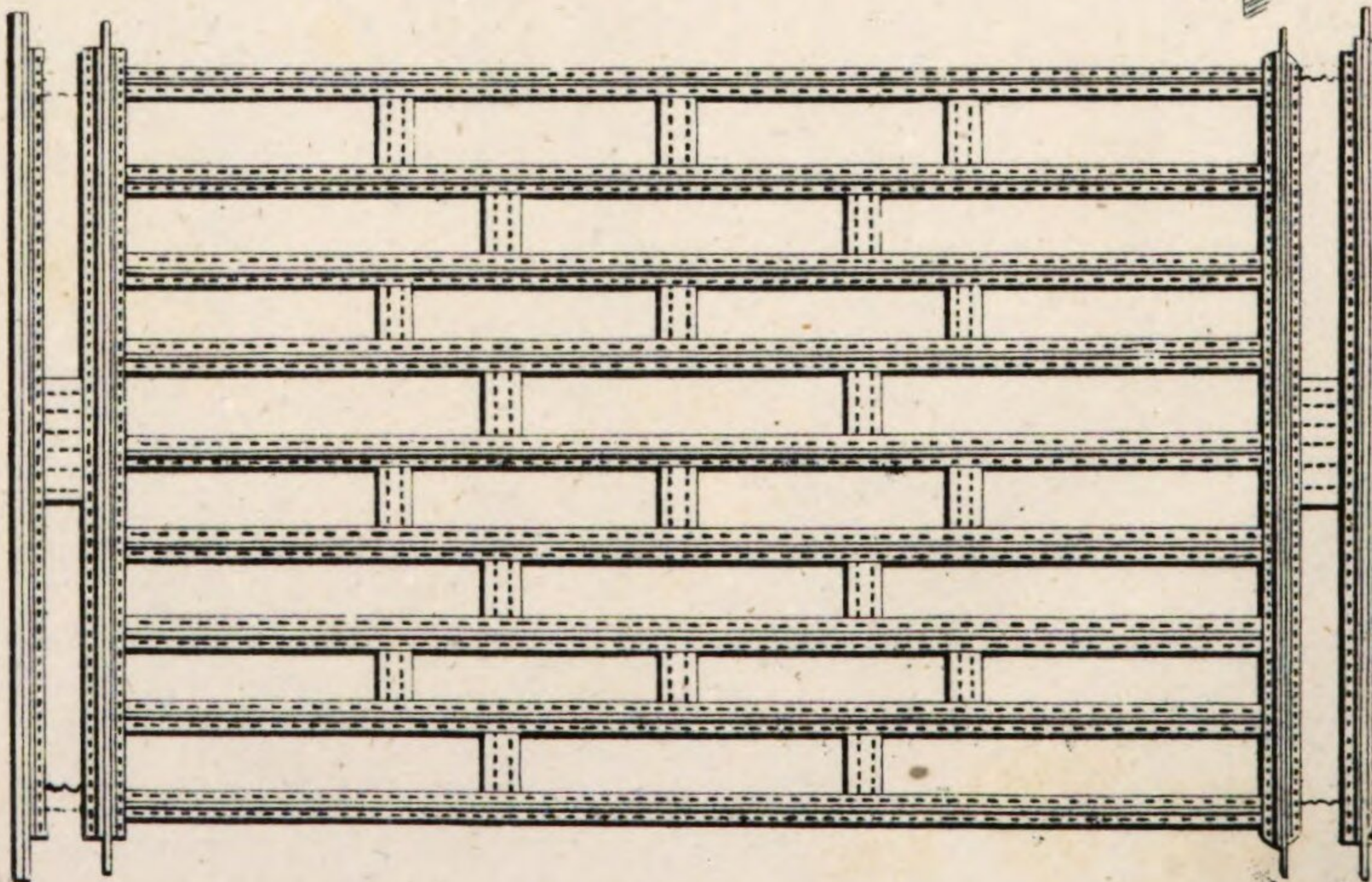


Fig. 24.

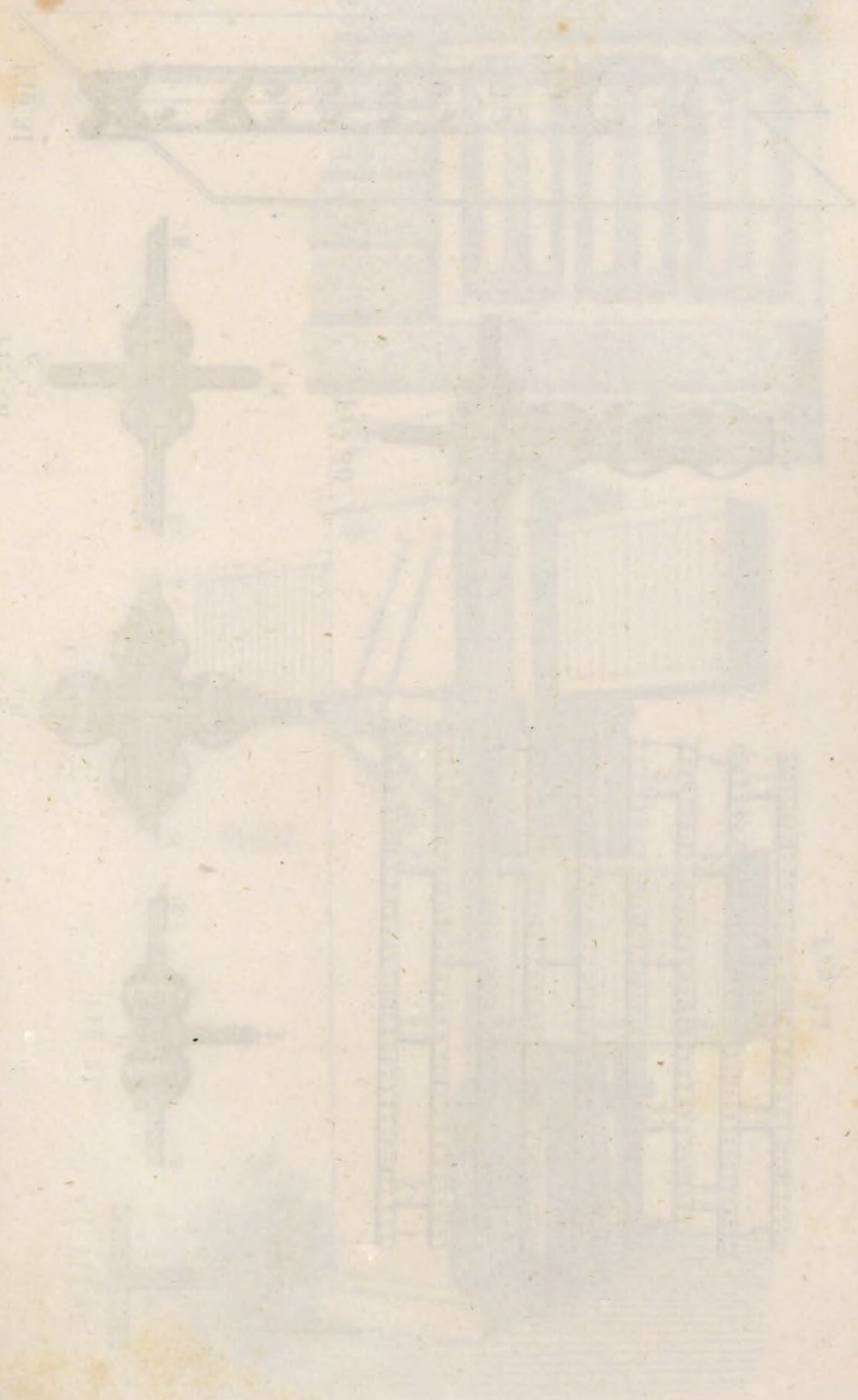


Fig. 31.

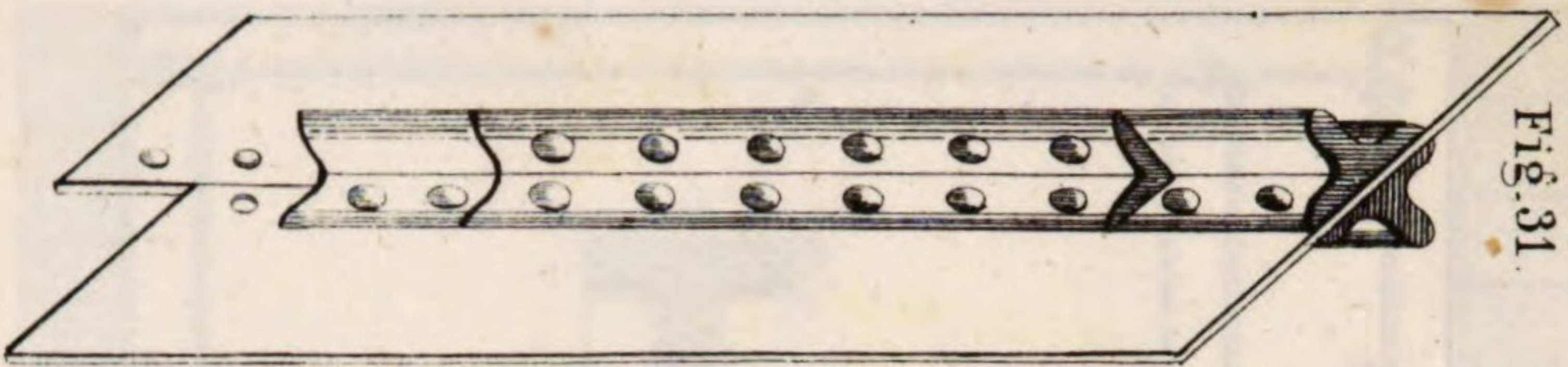


Fig. 28.

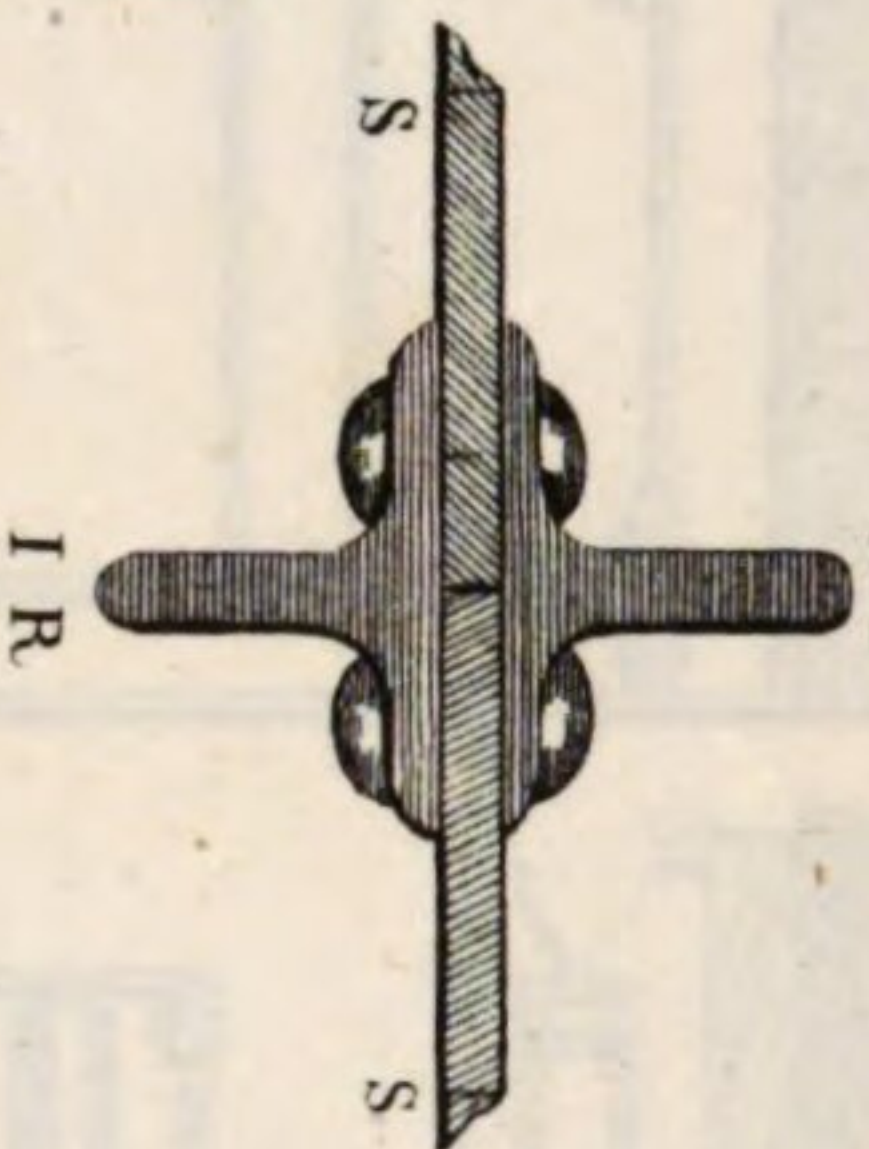


Fig. 30.

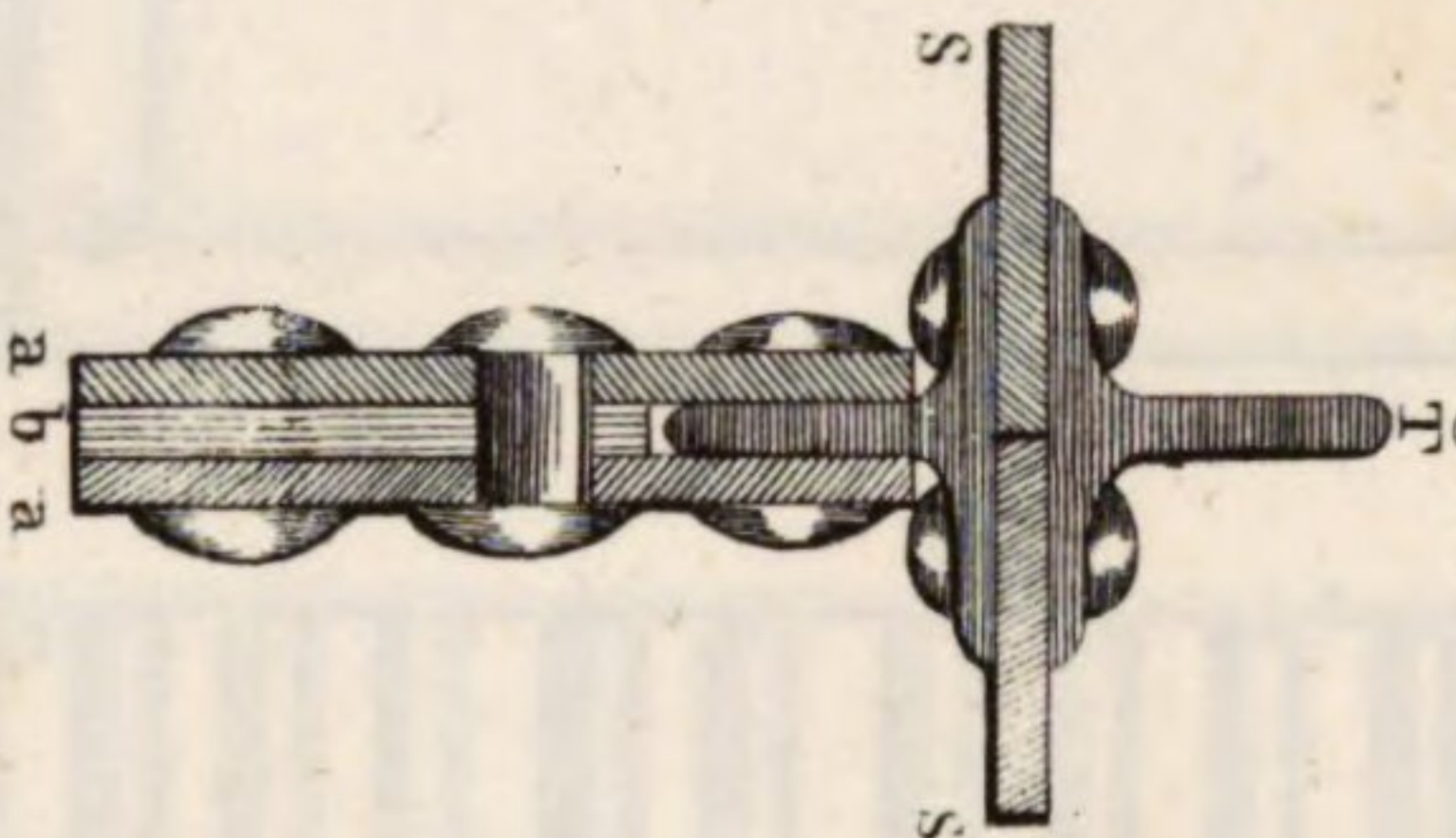


Fig. 29.

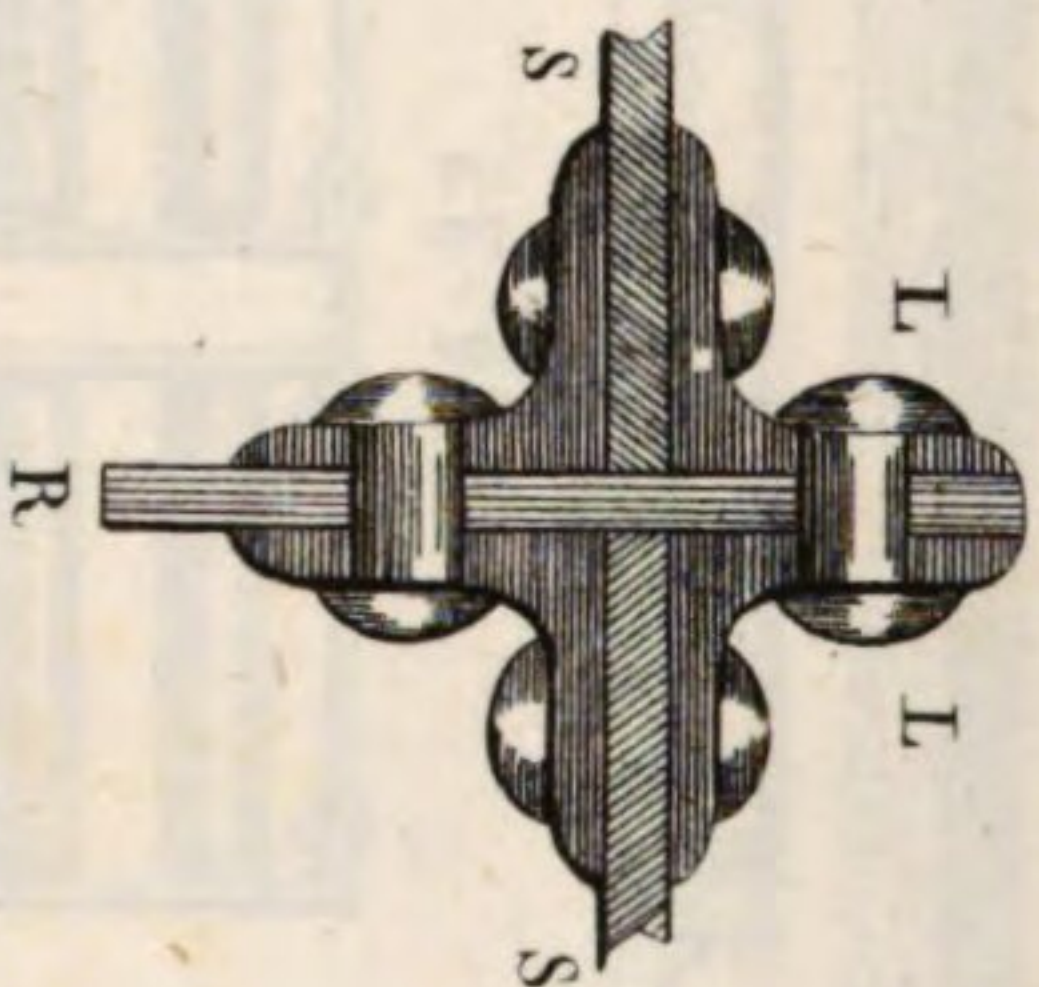


Fig. 27.

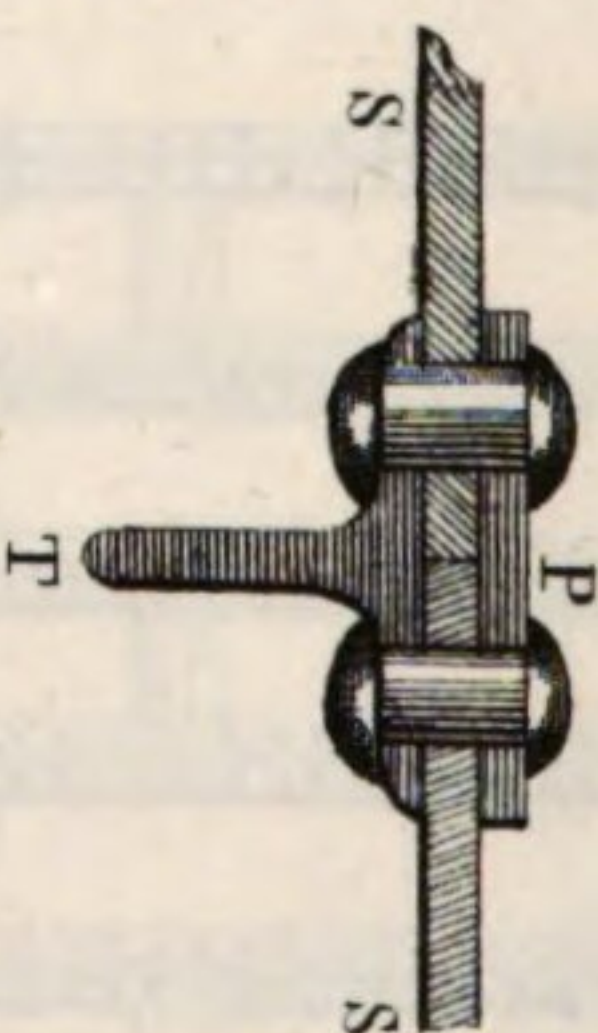


Fig. 26.

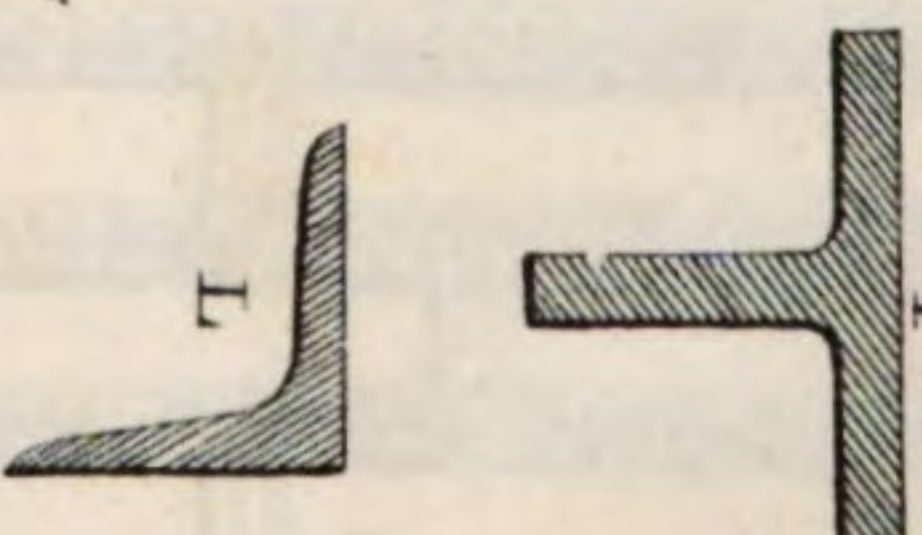
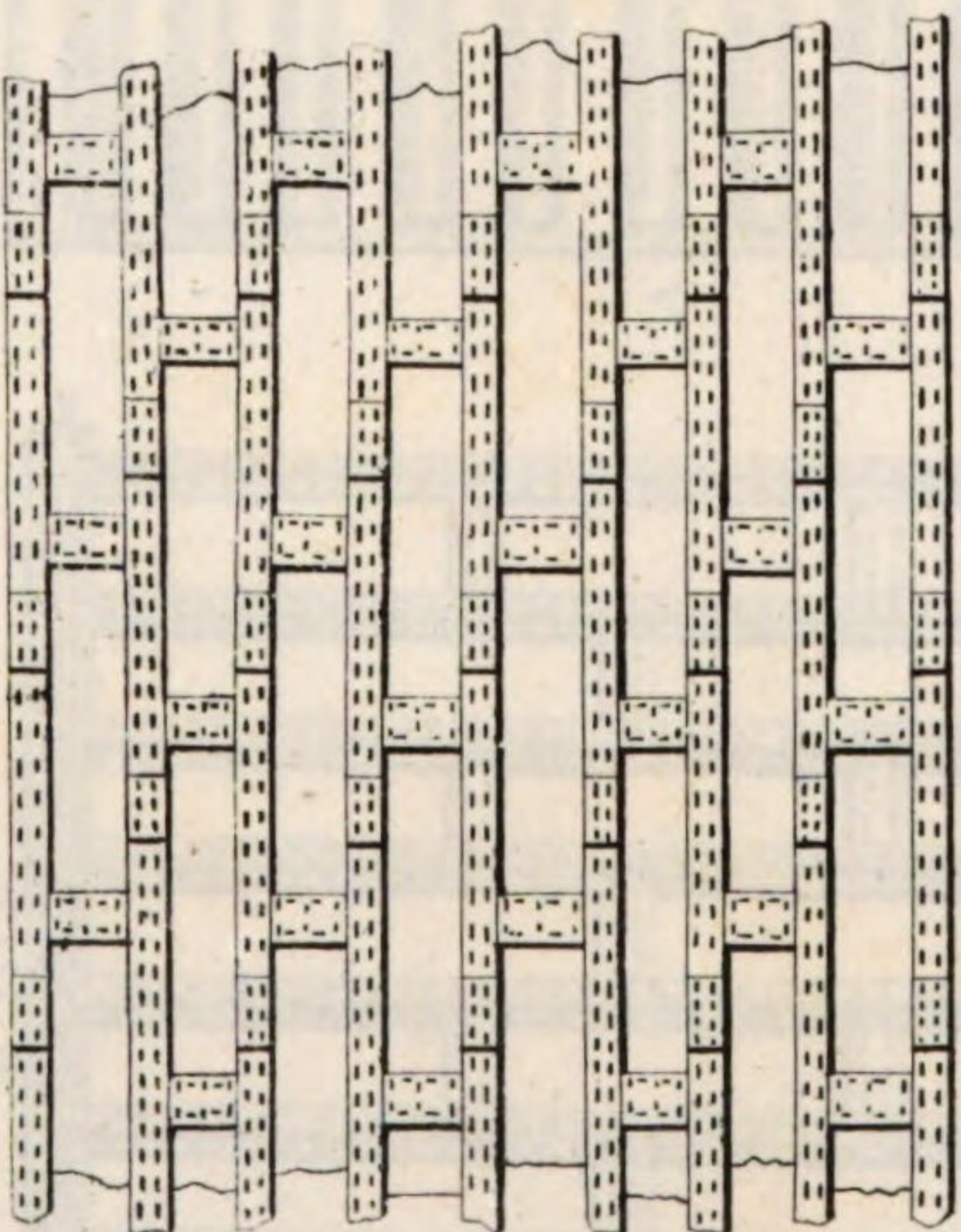


Fig. 25.



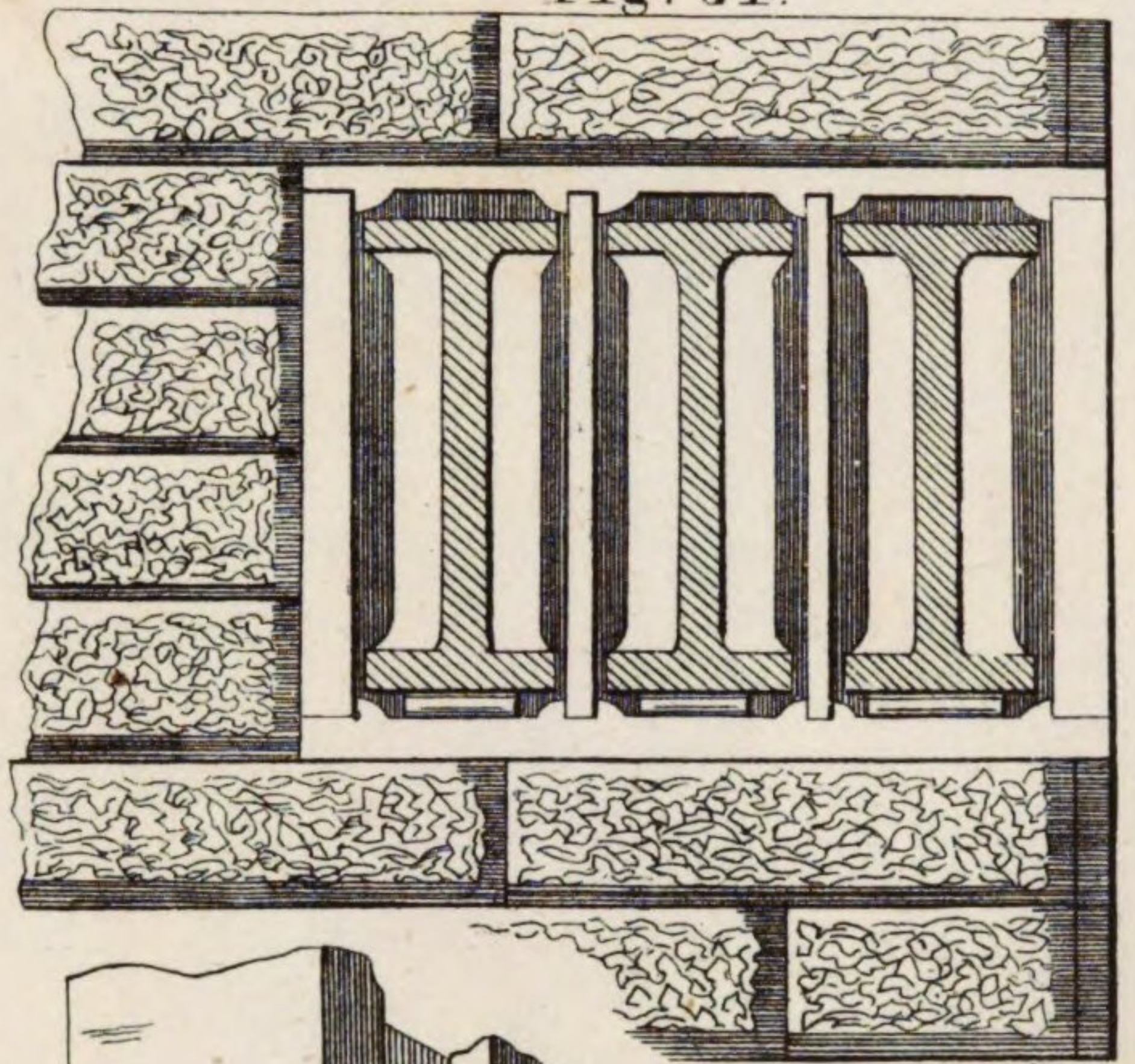
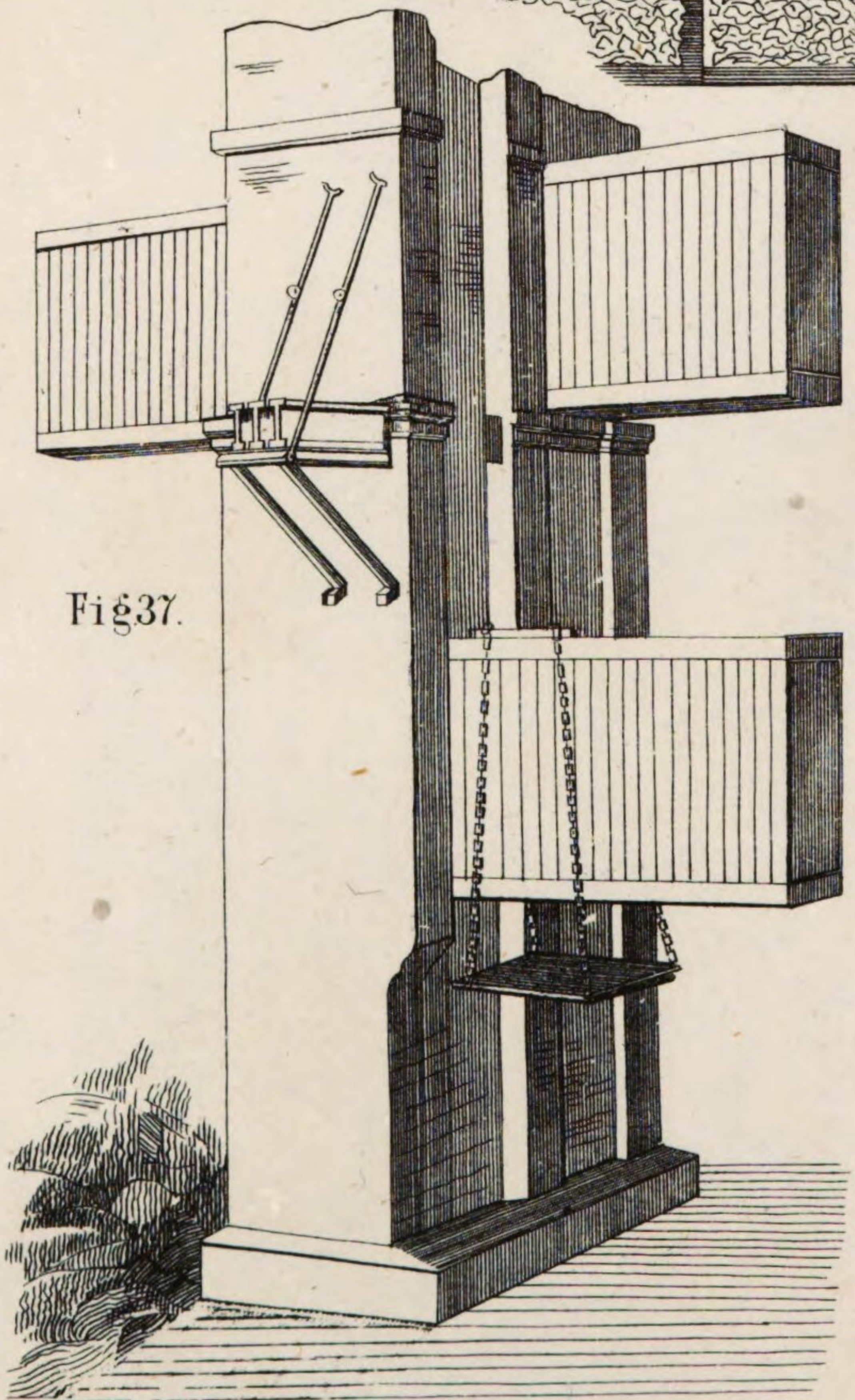


Fig 37.



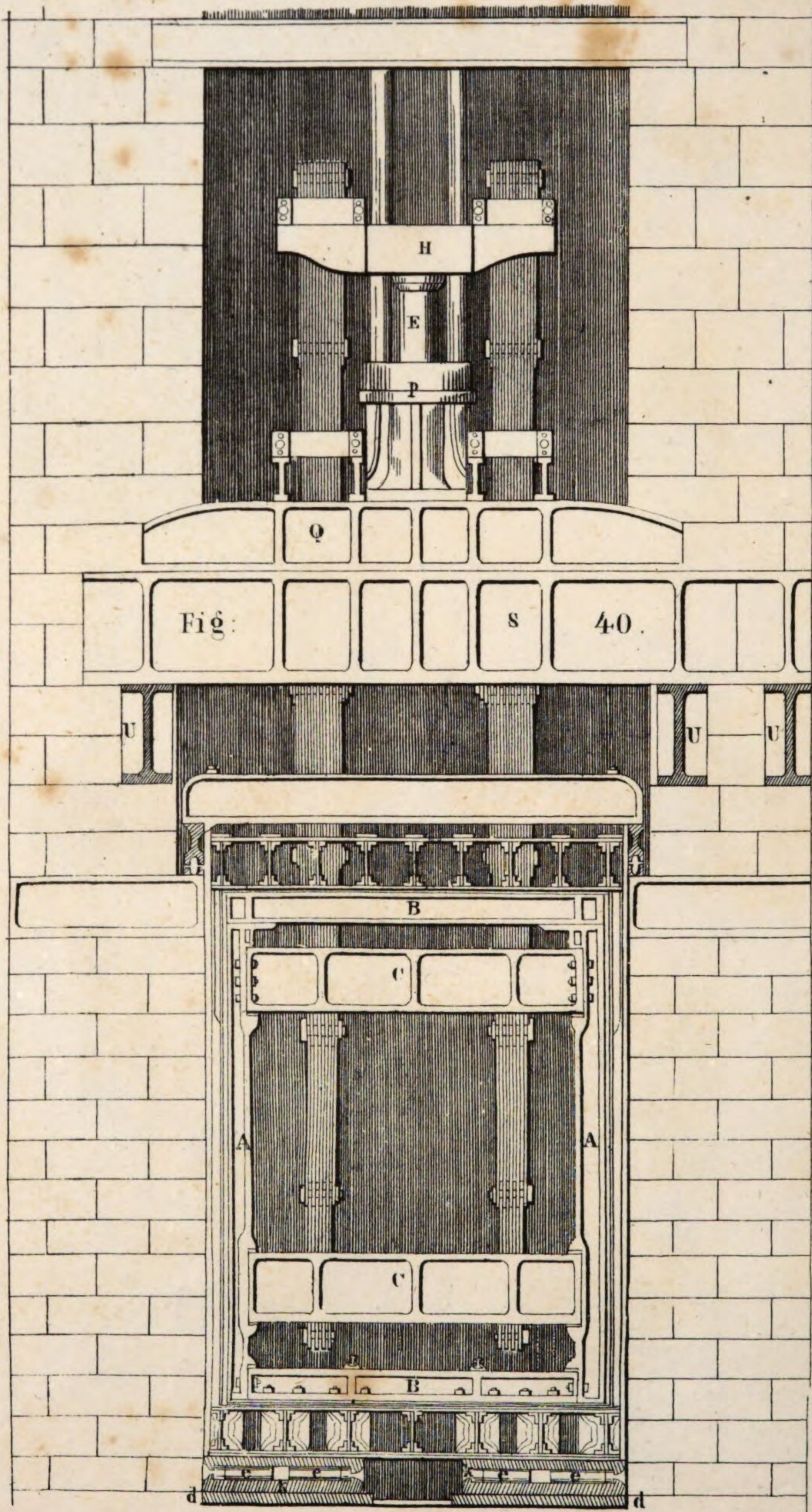
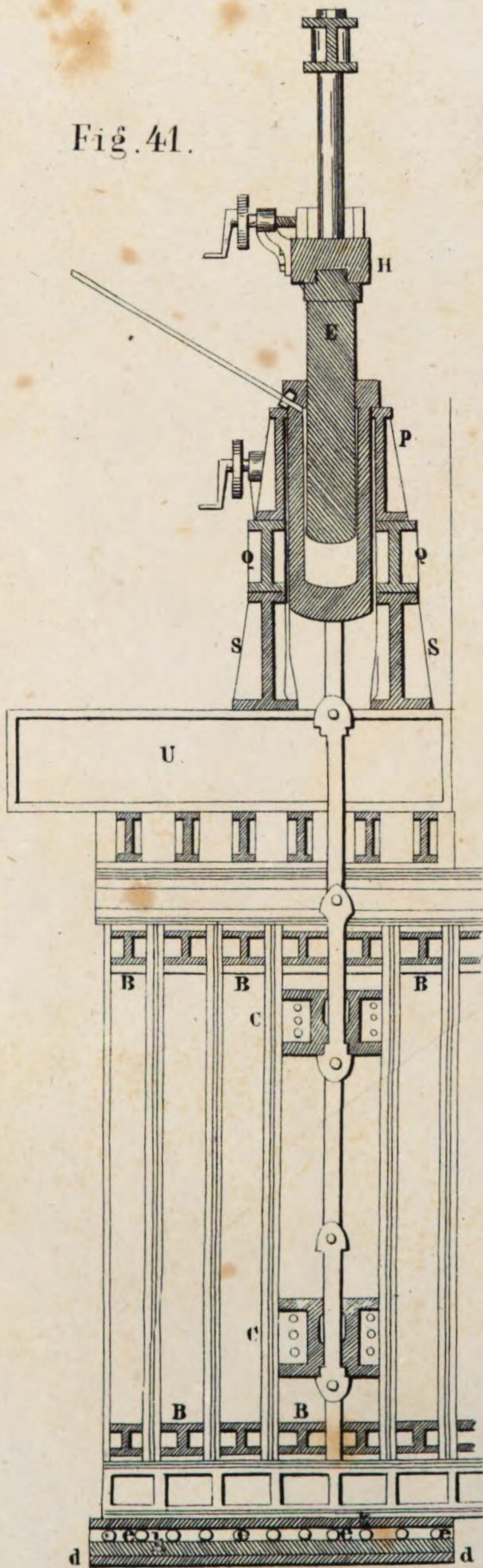


Fig. 41.



Brücken

Werther, Gust.

Praktisches Handbuch bei dem Bau eiserner Traeger- oder Joch-Brücken, mit besonderer Berücksichtigung der Britannia- u. Conway-Röhren-Brücke in England Mit 16 Tafeln lithographirter Zeichnungen

Dresden 1853

A.hydr. 86 um

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10060023-5